

大學叢書

實用地理學

司梯文
著 司文梯 司
譯 忭 紹 余

商務印書館發行

中華民國十九年三月初版
中華民國二十四年五月國難後第一版

(93749.1平)

大學叢書
(教本) 實用地理學 一册

Applied Geography

平裝 每册定價大洋壹元貳角

外埠酌加運費匯費

原著者 Alexander Stevens

譯述者 余紹柝

發行者兼
上海河南路
商務印書館

發行所
上海及各埠
商務印書館

版權所有
翻印必究

◆ C 六五二

徐九

序言

是書之作，乃爲一般需用實用地理之執業之人士學習地理之梯階，凡航海家，陸地測量家，礦務工程司及探險家，若彼等對於職務上日常應作之計算，須用智慧以資進行者，皆當具有本書所載之學識也；但此種計算非包含相當之數理不可，本書對於此點，則務使之愈簡而愈妙焉。

是書既成，蒙蒲罕納 (Mrs. A. Walker Buchanan) 女士詳爲校勘，以匡予之不逮；此種有價值之工作，余實深爲感激也。

一九二一年十月格來司哥 (Glasgow) 大學司梯文司 (A. Stevens) 謹識

目次

第一章 地之形狀 (The Figure of the Earth) 一

○ 圓球之平截面 (plane section of the sphere) 二

○ 大圓圈 (great circles) 三

○ 經線 (meridians) 五

○ 緯度 (latitude) 五

○ 經線之長短及其情狀 (size and shape of the meridians) 六

○ 經線之會合性 (convergence of the meridians) 八

○ 經度 (longitude) 一〇

○ 小圈或緯線 (small circles parallels) 一一

○ 水平線 (horizon) 一四

○ 球面三角形 (spherical triangles) 一五

第二章 測定地球之位置 (Finding Position on the Earth) 一八

天球 (the celestial Sphere).....	一八
天頂與地平線 (zenith and horizon).....	一一
地平緯度與地平經度 (altitude and azimuth).....	一三
太陽與恆星之觀察 (observations of the sun and star).....	一三
儀器 (instruments).....	一五
經緯儀 (theodolites).....	一五
六分儀 (the sextant).....	二八
地方緯度之鑒定 (determination of the latitude of a place).....	三二
經度與時間 (Longitude and time).....	三六
本地時間與標準時間 (local time and standard time).....	三八
太陽時 (solar time).....	四〇
恆星時 (sidereal time).....	四二
時刻之觀測 (observations for time).....	四四
時角 (hour angle).....	四八
經度 (longitude).....	四九

地平經度或方向 (azimuth or bearing)	五一
第三章 地圖製造法 (The Making of Maps I)	五四
地圖之圖樣——地圖繪法 (the plan of the map—map projection)	五四
地圖之縮尺 (scale of maps)	五八
地圖上之形狀 (shape in maps)	六〇
面積 (areas)	六一
能開展及不能開展之平面 (developable and undevelopable surface)	六二
圓筒法 (cylindrical projection)	六五
麥卡托繪圖法 (Mercator's projection)	六七
圓錐體之繪圖法 (conical projection)	七一
藍伯氏之繪圖法 (Lambert's projection)	七七
多圓錐形體之繪圖法 (polyconic projection)	七七
蓬尼氏繪圖法 (Bonne's projection)	七八
異體同形之繪圖法 (homolographic projection)	七九
天頂式之繪圖法 (zenithal projection)	八〇

透射繪圖法 (perspective projection)	八三
略西尼之繪圖法 (Cassini's projection)	八六
第四章 地圖製造法一 (The Making of Maps—II)	八八
測鍊測量法 (chain surveying)	八八
測量手冊 (field book)	九一
測量圖樣之畫法 (plotting a survey)	九二
三角測量法 (triangulation)	九六
經緯儀 (theodolite)	一〇〇
基線之測量 (measurement of a base line)	一〇二
參謀部之測量法 (Ordnance survey)	一一一
平版測器 (plane-table)	一一一
指方規 (alidade)	一一二
誤差之三角 (triangle of error)	一一六
周圍測量法 (traverse)	一一八
水準測量法 (levelling)	一二九

阿布尼水準儀 (Abney level)	一二五
印度測斜儀 (Indian clinometer)	一二六
空盒氣壓表 (aneroid barometer)	一二七
等高線 (contour lines)	一二八
第五章 地圖之讀法 (Map Reading)	一二九
縮尺 (scale)	一二九
繪畫地圖法 (projection)	一三〇
通用之符號 (conventional signs)	一三一
等高線 (contour lines)	一三四
影線 (hachures)	一三七
第六章 航行圖之構造及其應用 (Charts: their Construction and Use)	一五一
繪圖法 (projection)	一五一
海上測量法 (marine surveying)	一五一
海潮 (tides)	一五五
測深法 (sounding)	一五六

航行路圖 (charts)	一五九
潮汛 (tidal information)	一六五
燈塔 (lights)	一六五
浮標 (buoys)	一六七
霧 (fog)	一六八
安全之航路 (safe course)	一六九
第七章 天氣與氣候 (Climate and Weather)	一七〇
大氣 (the atmosphere)	一七〇
高度變動之結果 (effect of change of altitude)	一七一
空氣中之變化 (changes in the atmosphere)	一七二
等壓面 (isobaric surfaces)	一七二
輻射能力 (radiant energy)	一七六
日光熱 (insolation)	一七七
等壓面受日熱曬曝而拗曲 (warping of isobaric surfaces by insolation)	一七八
地球之溫暖 (warming of the earth)	一八〇

冬夏之溫度 (winter and summer temperature)	一八二
風及氣壓分配之大略 (general distribution of pressure and wind)	一八四
水蒸氣 (water vapour)	一八八
天氣之觀察 (weather observations)	一九〇
熱帶 (the torrid zone)	一九四
副熱帶區域 (subtropical regions)	一九五
溫帶區域 (temperate regions)	一九六
穩定旋風及流動旋風 (stationary and moving cyclones)	一九六
反旋風 (anti-cyclones)	二〇一
天氣及氣候在商業上之重要 (commercial importance of climate and weather)	二〇三
第八章 內地運輸——國內貿易 (Inland Transport: National Trade)	二〇五
鐵路運輸 (transport by rail)	二〇五
鐵路傾斜之度數 (gradients)	二〇六
鐵路建築費 (cost of railway construction)	二〇八
運輸事業 (traffic)	二一一

運費 (freights) 111

北美之鐵路 (North American railways) 114

歐洲之鐵路 (railways of Europe) 115

大不列顛之鐵路 (railways of Great Britain) 116

其他各國之鐵路 (railways in other countries) 118

第九章 海運 (Ocean Transport—1) 120

海港 (ports) 120

海港之淤塞 (silting up of harbours) 121

潮水 (tides) 121

洋流 (currents) 126

普通之海洋潮流 (general ocean currents) 127

海道 (sea routes) 130

航海家之羅盤儀 (mariners' compass) 134

羅盤儀之差誤 (error of compass) 136

第十章 海運二——國際貿易 (Ocean Transport—2: International Trade) 145

航路及無一定航路之運輸事業 (line and tramp traffic)	二四九
運送貨物之市場 (freight market)	二五一
海道 (ocean routes)	二五三
北大西洋之貿易 (North Atlantic trade)	二五五
太平洋之貿易 (Pacific trade)	二五七
亞細亞之貿易 (Asiatic trade)	二五九
地方貿易 (local trade)	二六〇
附錄 (Appendix)	二六三

實用地理學

第一章 地之形狀 (The Figure of the Earth)

地形之爲球體，在亞理斯多德時，已爲人所共認；近世學者，對於此點，更以最精確之測驗法，察得地形之結果，實非真圓如球形，亦不類幾何學內任何有規則之形像；但彼等因研究地形起見，不得不用一種與地形最近似之有規則之幾何形以代表地球，而假定其爲圓球。吾人試一研究幾何學中圓形之原素，即能得悉地理學上更真切之意義，而知求得地形更準確之知識爲有價值。

地之形狀，若假定爲圓形，則地球儀一物，實可爲其唯一準確之模型。（見第三章）即吾人欲推演地圓之說，亦必須利用該物，並將其全體或各部分一一繪出，方能易於明瞭。但地球儀乃一不易分割之物，故爲便利一般學者起見，又不得不假定橘子或皮球，以爲地球之模型焉。

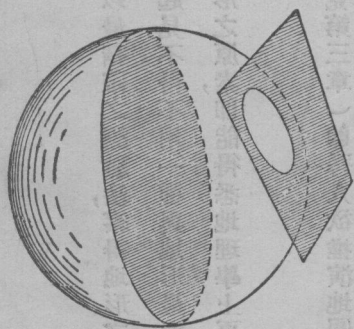
吾人試取橘子一枚，將其直截爲二，則其兩半被截之處爲兩平面，而其外廓爲一圓圈。此種平面，乃爲橘子之平截面。吾人於此，即可知一種平面，若通過地球儀，即能產生此種圓平之截面。而一切圓球之平截面，皆爲圓形。至一圓球所可化成之平截面，其數則無定限。

圓球之平截面 (plane section of the sphere)

試取硬紙板數塊，剪成各種大小不等之圓圈，圈之直徑，其一須與地球儀之直徑相等，其一不妨略大，但其中必須有一二較小者，然後任取一圓圈，套於地球儀上，如帽之緣邊然。則其紙板內圈之邊，即能緊貼於該球之上。惟紙板所切之圓圈，倘不甚圓，則其邊即不能緊貼於該球之上矣。吾人又可懸揣紙板之平面為穿過地球儀，將其橫截成一與紙圈之孔相等之圓圈；此時如以鉛筆沿着紙圈之邊圍圈畫轉，即可將紙板之圓圈畫在球上。若紙圈之孔，其直徑大於該球，則紙板將由球上滑過，如其直徑，彼此相等，則紙板適圍在球之正中，如一腰帶。此種紙板，圍於球上，不必在一定之地點，皆能將此球平分為二。由是可知在一圓球上所能畫得之最大圓圈，或圓平面，其直徑必與該球之直徑相等，而此種平面，亦必穿過該圓球之中心。至每一圓球能化成此種圓平之截面，其數則無定限，此等圓圈即為大圓圈。

其他之圓圈，能劃於該球之上者，其直徑必皆較短，是謂小圓圈；小圓圈之徑，長短不一，皆較短於該球之徑。至該球上能劃之小圓圈，為數雖無定限，但其平面，則無一可以穿過該球之中心。（見圖一）

凡一平面，可使經過任何互相距離之三點。吾人對於此理，不難用實驗法以證明之。試取鐵絲三根，長短不計，



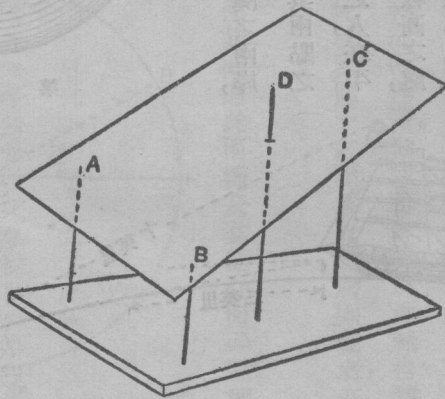
第一圖

將其插入一木板中，使直立成三柱，此三鐵絲之上端 $\triangle ABC$ ，即以代表互相距離之三點。然後以一塊代表平面之紙板，置於其上，則此紙板即能緊貼此三點。如再加以鐵絲一根，則板面能與此四點完全貼住，僅偶然之事耳。（見圖二）譬如一三足之凳，無論因使用日久，其足已變為長短不一，或置於高低不平之地上，仍能植立甚穩。倘為一四足之几案，其足之長短不一，而置於高低不平之地上，則其結果即不同矣。

凡平面之通過一地球儀，皆可經過其球面之任何三點；易言之，凡劃一圓圈，必須經過球面之任何三點。惟大圓圈僅須通過球面之兩點，因各大圓圈之平面，通過球面時，皆須經過該球之中心，而此中心即為第三點也。大圓圈通過球面上之一點，亦必經過其對方之點，其理至為明顯。惟平常通過球面之任何兩點，祇可畫一大圓圈，但可畫之小圓圈，則無定限耳。

大圓圈 (great circles)

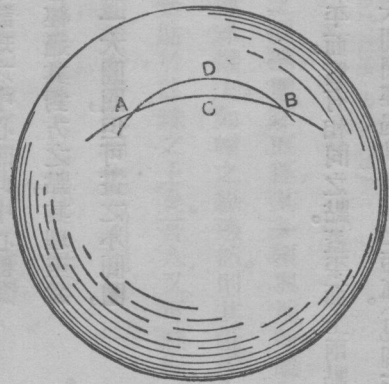
大圓圈之於圓球，其關係與直線之於平面，實有相同之點。蓋平面上兩點距離之最短線，即在連接兩點之直線中，猶之球面上兩點距離最短之線，即為大圓圈經過此兩點之短弧。（見圖三）在第三圖之內，其 A 、 B 兩點，乃



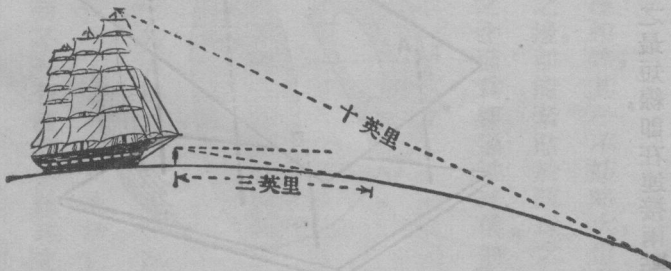
第 二 圖

為大圓圈之弧 $A^{\circ}CB$ 以及小圓圈之弧 ADB 所連成。於此可見 A 與 B 較長之距離，顯然為彎度較深之弧所構成，是即小圓圈之弧也。

地球為一極大之球體，故若兩點間最短距離祇相隔一英里之遙，則連此兩點之線彷彿為一直線。但吾人固知其為大圓圈之弧，祇因其弧之曲度甚小，故不能為目力所察覺耳。若距離十英里之兩點，同在一平地上，或大湖及海灣之兩岸，則此方與彼方即各不相見，此即為地面曲線所蔽之故也。以此而論，則其兩點之距離顯然須依其曲線以測量之；觀於第四圖，則更為明瞭矣。中等身材之人，在平地上可見之距離，遠僅三英里；如其人在塔上，或在船桅之頂，或在其他較高之處，則其目光所及，即可較為遙遠，因人之眼界，乃依限制其視線之圓圈而轉移，而此種圓圈實即為全地之小圓圈。



第三圖



第一四圖

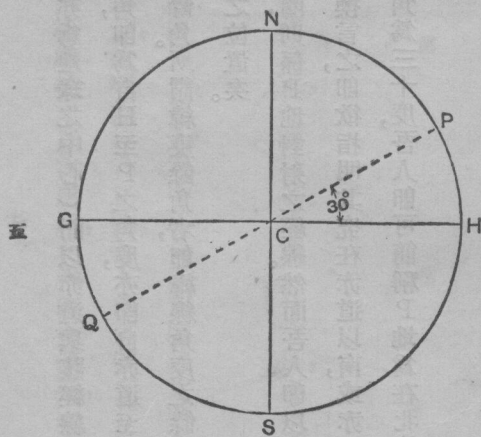
經線 (meridians)

地球上設定之圓圈，其功用甚巨，吾人賴此可以定某地在地球上之位置；而此種圓圈之位置，則又可視其與地球上天然固定之點之關係而斷定之。此種固定之點，是為兩極，亦即地軸之兩極端。地球每日繞此地軸自轉一週，兩極之位置，即因此自轉而成固定，並使吾人得因此以定其位置焉。惟地球表面上之點為天然所固定者，亦祇有此兩極點而已。

兩極者，乃彼此居於相反之地位者也。若在地球之表面上劃一大環，使其繞過此兩極及其他任何一點，則此大環，即謂之經線，亦即此環所繞過其他一點之經線也。經線之數，並無定限，地球表面上無論何點，各有其經線，而此經線又為無數地方之經線，即地之南北方向，亦皆不能出於其地經線範圍之外。

緯度 (Latitude)

地面之大圈，有名為赤道者，其平面與地軸相交為直角；一切經線，均為此赤道平分為二。凡一經線上之位置，須以赤道與該經線相交之點，或以離極之遠近為標準。如在第五圖上，試以圓圈 NPS 為



第五圖

P地之經線， NS 爲此線繞過南北兩極之點， C 爲該經線之中心（亦爲地球之中心）而以赤道與該經線相交於 G 、 H 兩點之上，則直徑 GH 與 NS 彼此即成直角；於是 $\angle PCH$ 角，即爲自 H 至 P 之角度，亦即自赤道至 P 之角度，是謂 P 之緯度。其自 P 至北極 N 之度 $\angle PCN$ 角，爲 P 地之緯度餘角。所謂緯度餘角者，即緯線角度之餘角。吾人依此緯度（或緯度餘角）以計算之，即可測定某點在其經線上之位置矣。

所謂 P 地之經線，大抵單指 NPS 之半圓圈而言；其他之半圓圈，則係 P 地對射之經線。然而吾人即以半圓圈而論，亦須指明 P 點係在 $NOCH$ 之象限中，抑在 $SOCH$ 之象限中，換言之，即欲指明其究在赤道以南，或赤道以北也。倘 P 點係在赤道以北，即謂之北緯度，如在第五圖內之 $\angle PCH$ 角爲三十度，吾人即可簡稱 P 地爲在北緯三十度，其對方之地，爲南緯三十度。

經線之長短及其情狀 (size and shape of the meridians)

假定大地爲球形，則其直徑，約可七千九百二十英里。經線全圓形之圓圈，即有二萬四千八百八十英里。而一象限之長度，則爲六千二百二十英里，故緯度九十度，即可等於地球面部之六千二百二十英里。而每一緯度，約可等於六十九英里有奇。

此項里數，乃爲法定之哩，或英里，每里含有一千七百六十碼。但通常每度須平分爲六十分，故等於緯度一分之經線長度，即稱爲地學或航海之里，或即稱爲海里。大凡一個象限之內，即含有九十個六十分，而每一海里，則爲

六千四百八十英尺，與平常之英里，或法定之英里相較，其比例為三十八與三十三。學者於此，不可不知也。

經線上適合於緯度一度之長度，曾經於各經線之各部分一一測驗之，始知經線上緯度每度之長短，並非遍處皆同，且不特在不同之緯度有所差異，即在同一緯度上，此經線與彼經線之長度，亦不能相等。按照測驗之所得，大率在較高之緯度，或漸近兩極之緯度上，其經線之長度，勢必漸增。茲將所測得平均之長度，列表於下（表一）

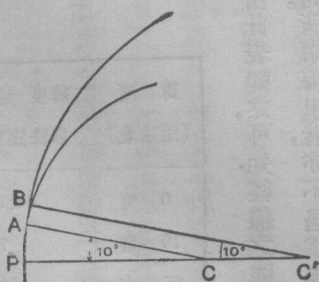
緯度 (南或北)	緯度一度之長 以法定里為準
0 度	68.72
10 度	72
20 度	78
30 度	88
40 度	99
50 度	69.11
60 度	23
65 度	28
70 度	32
80 度	39
90 度	41

第一表

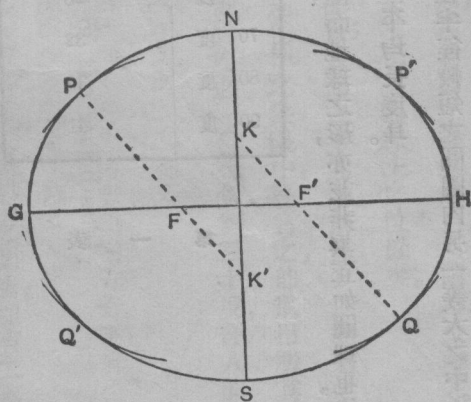
由此表觀之，可知經線之圈並非真正為一圓圈，而地球之形，亦並非真正如圓球也。緯度一分之長，亦並不一律皆同。所謂海里者，亦不過為經線等於緯度一分之平均長度耳。

凡一圓圈內之中心角，其所對圈線之弧，必較在半徑較短之圓圈內另一等大之中心角所對圈線之弧為大；（圖六）而半徑較短之圓圈，其圈線之彎度，必較直徑較長之圓圈為急，故經線既非正圓，吾人即可假定其為由各種半徑不等之圓圈之弧，彼此聯合而成。由此觀之，可知該弧在近兩極處，較之近赤道處，其半徑必較長，而彎度

必較緩。然吾人於此，欲繪一詳細準確之圖以表現之，則以限於篇幅，殊屬勢有不能。但第七圖內，即所以表示一經線為半徑不等之圓圈之弧所聯合而成之形狀，並指示經線及地球兩極之扁平狀也。



第六圖



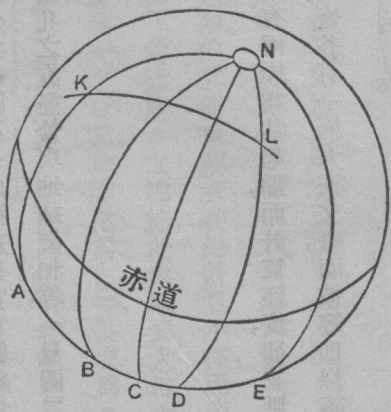
第七圖

經線之會合性 (convergence of the meridians)

各經線既皆通過兩極，則當任何兩經線（第八圖內之BZ及CZ兩線）將近兩極之時，彼此即愈趨愈近矣。譬如在地面上之A地，其朝北方向，係沿經線PZ。而此方向，在A點與此經線在A地之切線所指者相同。若在

同一經線之另一K地，則其朝北之方向即與在A地者不同，乃因經線有彎度之故。但A地及K地之切線，則皆與AN經線同在一平面上。又在另一經線上之B地，其朝北之方向，乃沿經線BK而上，或沿該經線在B點之切線；但其朝北之方向，卻與在A地或K地者，並不平行。惟在赤道處之經線切線，無論在赤道之何點皆平行而趨於同一方向也。吾人任擇地球儀上之兩經線，即可見其在赤道上朝北或朝南方向，彼此相同；但愈近兩極，則此兩經線所趨之方向，即彼此相差愈大，直至兩極處之時，則兩線間之角度，即為此兩線平面相交所成之角度，此實為一極重要之特性，名為經線之會合性。學者於此，不可不細加考慮，以求明白其理也。

試畫任何大圓圈於地球儀上，則此圈交過各經線時所成之角度，顯係各各不同；（見圖八）換言之，即其方向，乃為隨途程而逐步轉移者也。又假定K及L，為此大圓圈上之兩點；則自K至L之方向，即為經線之K點與L點所成之角，而自L至K之方向，亦即為經線之L點與上述之弧所成之角，而此兩角，卻顯不相等，又並非彼此之補角。於是可知自此點至彼點之方向，與自第二點至第一點之方向並不相同，祇因吾人所見兩點之方向，彼此距離甚近，不易察覺其有差異耳。譬如利物浦（Liverpool）與孟卻斯脫（Manchester）兩地，其由利至孟之方向，為八十度二十分，由孟至利，則為二百六十一度；但其兩地，若為利物浦（Liverpool）與紐約（New York）則由

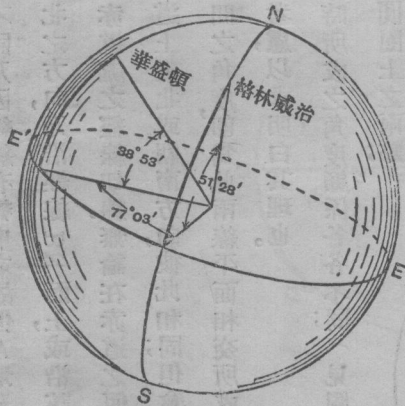


第八圖 KL為一大圓圈

利至紐之方向，爲二百八十度十五分。而由紐至利，又爲四十九度四十五分矣。（圖八）此種差異，實爲經線會合性上所得之重要結果，學者對於此點，宜用硬紙板剪成一大圓圈，使其圈孔之直徑，恰與地球儀相等，（見圖二）然後可以實地練習，而深悉其理焉。

經度(Longitude)

不論任何經線，皆能就其與赤道相交之點而計算之。然計算緯度則有兩極爲其起點，而計算經度，卻並無一天然之起點，故吾人不得不任擇一標準線，作爲計算之起點也。文明各國，皆各有一極大天文臺，而彼等即以該臺所在之經線，作爲其國之標準線，但其後爲謀計算之統一起見，始由各國開一萬國公會，議決以英國格林威治(Greenwich)天文臺之經線爲一標準線焉。與某經線及標準線經過赤道之兩點中間赤道之弧相對之地心角，即爲該線之經度，（圖九）又爲兩線之平截面中間之角度，亦爲兩線在兩極處之切線中間之角度。



第九圖 緯度與經度

格林威治北緯	51°28'
經度	00°00'
華盛頓北緯	38°53'
西經	77°03'

經度之計算，係由格林威治標準線之偏東或偏

西而計算者；計東西各得一百八十度。其在東經度一百八十度之經線，與在西經度一百八十度之經線，則爲彼此共同之經線也。

自有經緯度之後，吾人即可據此以測定某地確在地面之何處；譬如華盛頓 (Washington) 之經緯度，（或稱華盛頓之位置）爲北緯三十八度五十三分，西經七十七度零三分，吾人即可於地球儀上，擇一在格林威治標準線以西七十七度零三分之經線，然後由赤道處，沿該線北上，以至北緯三十八度五十三分之地，則其地卽爲華盛頓之位置矣。（圖九）

小圈或緯線 (small circles, parallels)

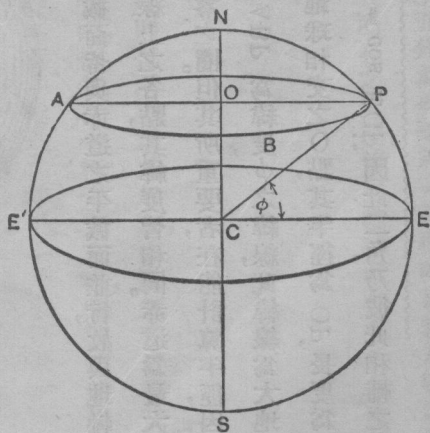
地球上重要之小圓圈，卽通常所見於地球儀及地圖上者，其平截面皆與赤道之平截面並行，故與地軸或兩極之徑，彼此成爲直角。此種小圈，亦爲緯度之圈，或緯線；凡在同一緯線上之各點，其緯度皆相同。赤道爲最大之緯線，其餘則愈近兩極而愈小，及至兩極，則緯線成爲一點，或半徑等於零之圈。但其所重要者，在能計算半徑，因而推得每一緯線之長度，今幸此事，爲之尙屬不難，譬如在第十圖內假定 $\triangle ABP$ 爲緯度 ϕ 之緯線，此緯線爲大地球面之一平截面；其平面與地軸 ZS 成直角，故其中心在緯線之平面與地球相交之 O 點，其半徑爲 OP ，長度爲 r 。若地球半徑 CP 之長度（註1）爲 R ，則其公式爲 $OP/CP = \sin\phi$ ， $OP = R \sin\phi$ ， $EC/CP = \cos\phi$ ， $EC = R \cos\phi$ ，因此 $\angle C$ 角，乃彼此相輔之角也。

（註1）如以地球爲非球形則可稱爲在 P 處之經緯彎度之半徑

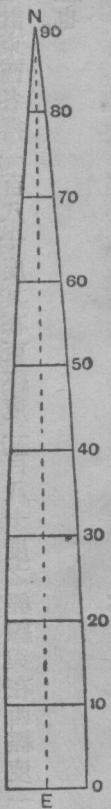
然此二角又各為緯線P之緯度 ϕ 及緯度餘角 ψ ，故 $\gamma = R \sin\psi$
 $= R \cos\phi$ 。例如北緯（或南緯）六十度之緯線， $\phi = 60^\circ \cos\phi$
 $= 0.5$ ，則 $\gamma = \frac{1}{2}R$ ，或緯線之半徑，亦即為地球半徑之半也。

假使兩經線之距離，彼此相距經度一度，或照普通之說謂為相差經度一度，則該兩經線在赤道之距離，約可六十九海里。按照上例推算，則至北緯六十度時，該兩線之距離僅有其半，或三十四里半有奇。學者若欲確定此數，須先計算其緯線六十度之長，然後將所得之答數再用三百六十度以除之，因一圈之內，共有三百六十度也。

觀於地球儀，即可知經度間之距離，愈近兩極而愈短。及至兩極之處，則其距離即等於零矣。茲用第十一圖以表明之。表內之橫線，係指示每間緯度十度之緯線上所得經度十度之長，並劃分之四線使每格表示每經線十度之長。其第二表內所列為緯線一度之長，大約每間十度為一格，蓋此圖表，乃從另一方面引起對經線之會合性之注意者也。



第十圖



第十一圖

緯 度 (南 或 北)	緯線一度之長 以法定哩爲準
0 度	69.17
10 度	68.13
20 度	65.03
30 度	59.96
40 度	53.06
50 度	44.55
60 度	34.67
65 度	29.31
70 度	23.73
80 度	12.05
90 度	0.00

第 二 表

緯線全體，亦如經線即在同一線上，而各部每度之長短，皆不相同，惟緯線上每度之差，出入甚微，故驟視之似爲一真圓圈，實則經線爲橢圓形，其兩極直徑較赤道直徑爲短，故地球之形，頗似一橢圓之圈繞其較短之軸旋轉而發生之形象。此種形象，各爲橢圓體，或近似球形之體。於是吾人乃可總括其所知於地球之形狀，而謂地球爲一如下列大小之扁圓體，或橢圓體：計南北半徑 A 爲三千九百六十三海里，東西半徑 C 爲三千九百五十海里，其扁勢則爲 $\frac{A-C}{A} = \frac{1}{300}$ 。

地圖及地球儀上所繪經緯線之多寡，須視其所擬之尺度而定，大概大尺度之地圖上，可以每十分畫一線；其尋常之地球全圖，及地球儀上，則祇能每十度畫一線矣。在地面上之某地，欲向南北移動，必須依其經線而進行，若向東西移動，則須依其緯線而進行。此項方向，乃互相成爲直角。惟吾人對於此點，尙須明瞭其在圓球上之真相如何；蓋地球儀上，僅起點處如此，及一離其起點，則緯線之彎度，即沿其線而轉動，其與經線成爲直角之方向，使

之漸離漸遠，且經緯線之平面，當互相成爲直角之時，其經線之自身，與緯線之平面，卻並不成爲直角也。

水平線 (Horizon)

地球上之居民，如忘地面上有羣山萬壑雜沓於其間者，則必覺其附近之地，皆爲一片平陽。至此平陽之面積，則大都視其目光所及之水平線爲止境；其實地面之上，卻並無一塊眞平之地，所可認爲眞平者，祇有極小之一點耳。此種地球上貌似之平面或稱爲某地之極小平面，如欲予以一較確之名稱，則可稱爲該點之水平面；若引之使長，則此極小之平面，顯爲地球在該點之切線之平面，並與小圈之平面成一平行線，而證諸上述，卽爲該點之視線所及或感覺所及之水平線，於是吾人可知在地球上之任何一點，必有一眞水平線，及一感覺所及之水平線；但彼感覺所及之水平線，卻在眞水平線之下。（見圖四）水手之在船上觀察航線者，彼卽用感覺所及之水平線；但彼觀察之處，既在船之上層甲板前之臺上，其高度已遠出於海面，故其感覺所及之水平線，亦遠在眞水平線之下。感覺所及之水平線，及眞水平線間之角度距離，則名爲水平線之傾斜勢。譬如一人，身高六英尺，則其感覺所及之水平線，約可三英里，而在其目之眞水平線下，彼此可成一二分左右之角度。

凡直立之線，在任何地面之一點，皆與水平面或該地點之地面成爲直角。如地球爲眞正球體，則此直立線與地球之半徑，必處處皆在同一之線上；現吾人爲便利起見，卽可假定其果如此也。凡直立之線，不論在何地點，皆可以定其方向爲一鉛垂線下指之方向，而水平面卽爲與此鉛垂線成爲直角之平面。又地球上任何一點之經緯

線，相交成直角於該點之水平面上，且祇限於該水平面上方相交成直角。

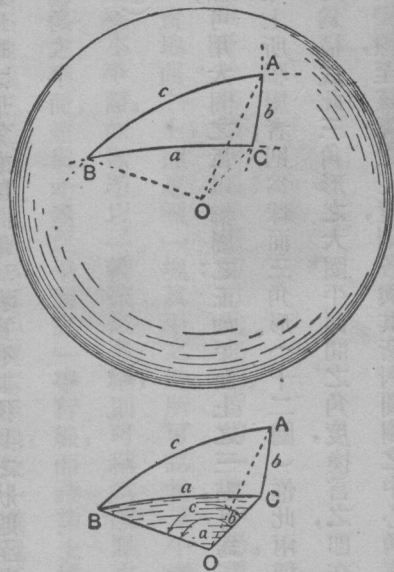
地球儀及地圖上所示吾人之地面，乃一近似球形之面積，無論在於何處，皆與鉛垂線成直角。至其與真正地球之表面所不同者，祇以地圖上所示之地面並未計及地面形勢之有高低不同耳。惟地面上，苟為一汪洋無際平靜無波之大水所遮沒，則地圖上所表示之地面，庶可與真正之地面相近似矣。蓋高原之表面，必較平地之表面為高，而在裂入地圖或地球儀之時，必先將其高低不平之處削減均勻，使能適合於一光平球體之表面，然後始能合用。吾人所謂地球為一球體者，乃即指此表面光平之球體而言，而此種表面，即為最近似真正地面之有規則之表面，雖其用處甚多，但純係出於理想，實非真正地球之表面。故吾人欲說明地球之形狀，其唯一準確之方法，惟有以地球形三字稱之。蓋地球形三字，其解釋乃為地球之形象；意即謂地球者，實有其獨具之狀態，至其形象究係如何，吾人至今尚未完全得悉也。

球面三角形 (spherical triangles)

如在一圓球上，任意擇定三點，則此三點，可用大圈之弧以聯屬之；正如平面上之三點，可為三直線所聯屬也。在平面上所聯屬者，謂之平面三角形，在圓球上所聯屬者，則為球面三角形。（十二圖）惟此兩種三角形，皆有二邊線，及三角度；如為球面三角形，則其角度，乃為構成此三角形之大圈平面間之角度，換言之，即在三角形尖頂之大圈切線間之角度。其邊線為圓圈之弧，故為彎線，至該弧之長度，則各與其所對圓圈之中心角度成正比例。若在

地球上，則該弧之長度，即與相對之地心角成正比例矣。譬如地球之半徑為 R ，則在十
二圖上，吾人即可推算 ABC 三角形中之
邊線，為 $AB = R \text{ AOB}$, $BC = R \text{ BOC}$,
 $CA = R \text{ COA}$ 。 O 為地之中心，而 AOB
 BOC COA 等角度，則皆以等於半徑之圓
周率量之。惟在球面三角中，則通常皆以圓
球之半徑，為其長度之單位，因此即可免用
 R 矣。如有必須化為尋常之單位時，則其事亦甚簡易，祇須乘以 R 之值，即能得之。然應用此種手續之時，實不甚多，
尤以研究天球，更無需用之必要，因天球並無固定之半徑也。

平面三角學，乃探索及利用平面三角形之邊線與角度間之關係；而球面三角學，則討論球面三角形之特性。但同一三角形之比率，則二者皆能通用也。至初步球面三角學，雖各學校中多不教授此科；然其易學，亦與平面三角學無異。但測量家及航海家皆須有賴於此，若能得一論此學術之專書而研究之，則於彼等實大有裨益也。又此兩種三角學之公式，其大致皆相同，但在球面三角形內，則其角度及邊線，皆須應用三角學之比率，故在研究球面三角形時，吾人所謂三角形之 AB 邊線，實即指 AB 線相對之中心角 AOB 也，今試列其公式於下：



第十二圖

下面之圖表示一自圓球上沿其三角形各邊之平面所切下之球面三角形 ABC 為圓球之中心

在平面三角學中， $a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C$

在球面三角學中， $\sin a/\sin A = \sin b/\sin B = \sin c/\sin C$

假定第十二圖內 A 爲北極，B 及 C 爲在緯度 ϕ_1/ϕ_2 經度 L_1/L_2 之兩地點，則邊線 $AB = c = B$ 之緯度餘角 $= 90^\circ - \phi_1$ ， $AC = b = C$ 之緯度餘角 $= 90^\circ - \phi_2$

又角度 A 乃 B 及 C 中間經度之差即 $L_1 - L_2$ 。故吾人於此，既已求得該球面三角形 ABC 之一角度及二邊線，即可如平面三角學中之辦法，以求得其第三邊線，及其他兩角度中之任何一角度矣。惟所當注意者，在平面三角形中，其三角度之和，係等於兩直角，成一百八十度。而球面三角形之三角度之和，則恆大於兩直角，其超出之數謂之球面之餘數 (spherical excess)。蓋因此等角度，係不在同一之平面上，故吾人不能於既求得兩角度之後，即取其和以減一百八十度，而求得其第三角度也。倘一三角形乃係如此求得者，則 BC 之長度，即自 B 至 C 之大圈距離，或其最短之距離，而 BC 與 B 及 C 處之經線 (大圈 ABAG 爲經線) 所成之角度，即自 B 至 C 及自 C 至 B 之方向，或其趨勢矣。

第二章 測定地球之位置 (Finding Position on the Earth)

吾人若欲應用其現已求得之方法，必須將其切實用之於地球，始不枉此一番研究，然在地球自身實無一物足以爲吾人實驗者；譬如有人遊歷南極，除一片茫茫無際之荒天雪地外，實一無所見，則吾人又焉知其地確有一固定之南極，而準確其位置哉。

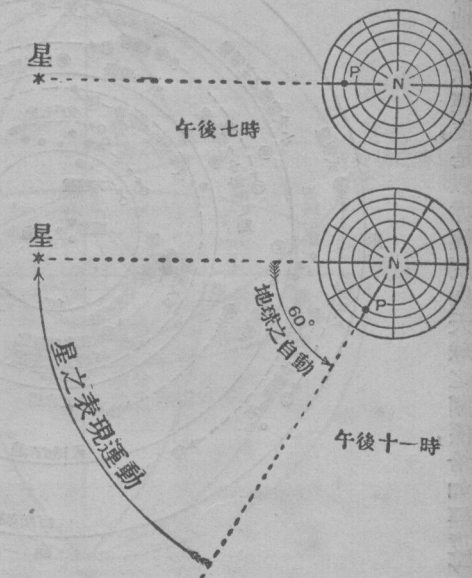
地球自身既無一物足爲吾人之依據，則吾人不能不借助於地球以外之天體，天體在天上所佔之位置，在每夜不同之時間，似皆各不相同；此事經長期討論之結果，乃知此爲地球轉動之故，而尤以地球每日繞地軸之自轉爲更有關係，故吾人不得不略究天體之位置及其明顯運動焉。

〔天球〕(celestial sphere) 太陽與恆星明顯之轉動，想學者當已知其梗概，茲再將其要點之有關於吾人今所研究之問題者，復進而論之；太陽與恆星，距吾人所居之地甚遠，吾人若推想彼等乃固定或近於固定於彼大空球之裏面者，則亦無不可也。再地球在此想像之天球內繞軸而轉，能使該天球之各部分，得於每二十四小時內一一陳於吾人之眼中。

如將地軸引伸之，則此理想之天球必有兩點爲地軸所穿過，——即天之南北極也。近此兩點處，彷彿絕對不動，天之北極，爲吾國人目光所能見，而附近此北極適有一明朗之星，即北極星是也，此北極星似乎固守一定之方

位不常移動者，故在吾國可以因北極星而大約指定北方之所在，其他各星似環繞此北極星而旋轉，此說可用下列之簡單方法以證實之，擇一晴朗多星之夜，移一小桌於戶外，取一針插於桌面之一邊，引目自針後凝視即於離第一針若干距離之處，更插一針於桌面，惟此針必須面向一距北極星甚遠之明星，且與此星成一直線，此時可靜待二小時，然後更取一針插於桌面，使與所擇之星及第一針相對，成爲直線，再由第一針劃兩直線，使一達第二針，一達第三針，並將吾人目光所見此星移動之角度以測量之，即可推得此星移動之明顯方向，及該星究需若干時間始能回轉彼之原位。（見十三圖）

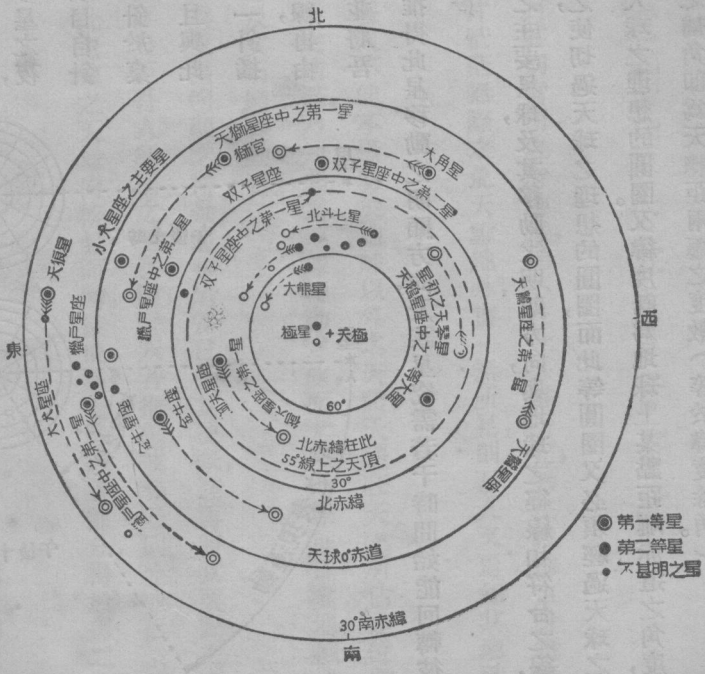
十四圖所示者，乃爲在北半球目所能見之主要星球，及其移動之明顯方向，與地球之經線相符合之線，是謂赤經，此項赤經，乃將地球上經線之平面引伸之，使切過天球之理想的圓圈，而此等圓圈又必須經過天球之兩極，其天球之赤道，亦即爲地球赤道之平面切過天球之理想的圓圈。又緯度既爲地球上某點距離赤道之角度，則赤緯即爲某天體距離天球赤道之角度，其赤緯之補角即爲天體距兩極之度數（等於緯度餘角）。



第十三圖

由吾人觀之，太陽繞地而行，似不循乎天球之赤道，乃循一與該赤道傾斜成一約二十三度半之角度，名為黃道之大圓圈而行，黃道與天球赤道相交之兩點，是為晝夜平分點 (equinoxes)，約當三月二十一日太陽行至是兩點中之一點上，吾人即稱其時為春分 (Vernal equinox)，第十五圖內即表明太陽在此時係行於天球之赤道上，故其赤緯為零度又當九月二十一日，太陽行至秋分 (autumnal equinox) 之處，其赤緯亦為零度也。

吾人已知地球上之經度，乃以格林威治之子午線為計算度起點，而計算赤經之度數，則以天球赤道上之春分點為起點，自此點偏東或偏西之經線與此點所成之角度，即謂之其地之赤經度，是以赤經度與天球之關係，恰如經度之於地

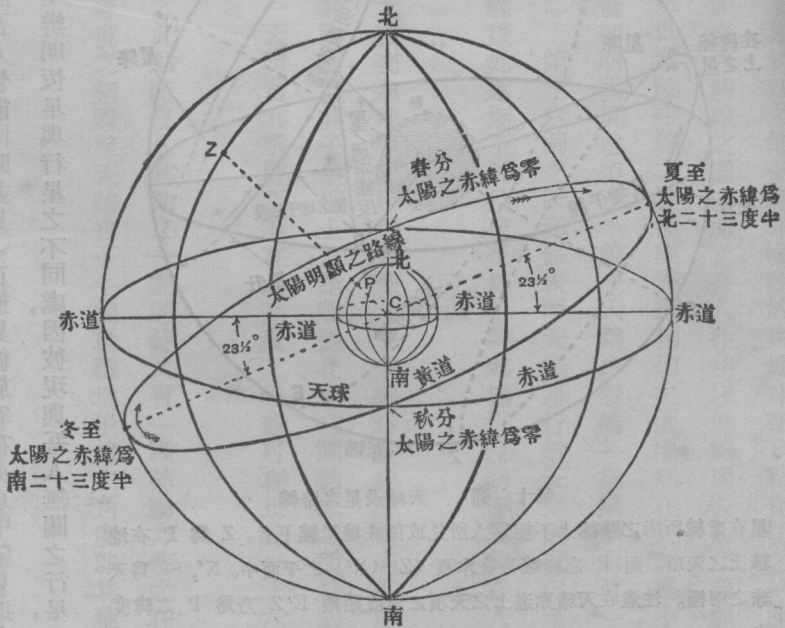


第十四圖 第一等大而亮之星第二等大而亮之星不甚明亮之星

球，吾人既可賴經緯度以定某地在地面上之位置，則欲知某星之位置，亦可用赤緯與赤經度以定之也。(註一)所謂赤緯之緯線者，並非將地球上緯線之平面引伸之使切過天球之圓圈，乃為與天球赤道成並行線之小圓圈，一如緯度之緯線者，乃與赤道成並行線之小圓圈也。

吾人固知地球並非真正之圓球，然為便利起見，而逕認其為球形，亦於實際上不至發生若何重要之錯誤。至天球乃純粹出於理想者，故可認為一真正之圓球，天球之直徑，並非固定，或有一定之限制者，吾人之於天球，僅想像其為一較地球大逾無量數之形體而已，太陽與地球間之距離，為九千三百萬英里，然此並非天球之直徑，其恆星與地球間之距離，則又不知較太陽更遠

(註一)天球之經緯線與赤緯及赤經度乃絕然不同者也。



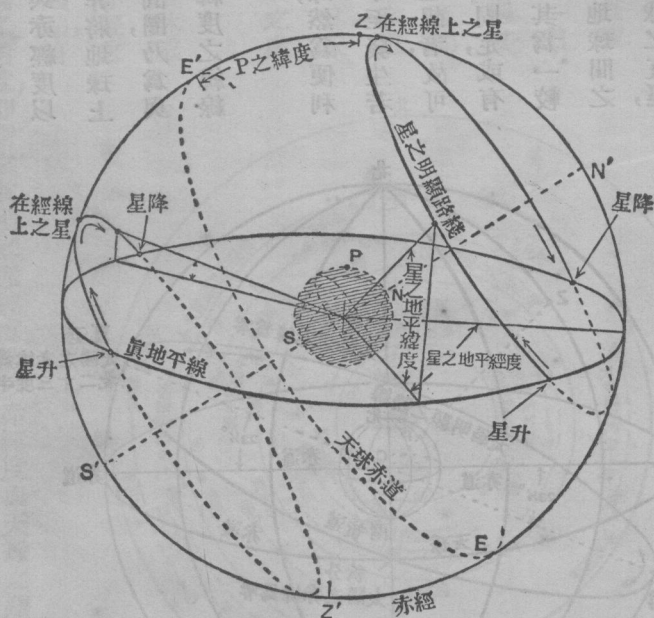
第十五圖 天球及地球

幾何，以致太陽之移動於諸星之中，（假使星與太陽，吾人皆能同時並見）正無異彼旅客在火車中望見近處之房屋，彷彿在遠處之山叢中飛馳而過也，然吾人必須辨明恆星與行星之不同處，因彼現與吾人無關之行星，其距地球實較恆星為近也。

天頂與地平線 (zenith and

horizon) 吾人每說及頭上或

直上之方向，恆不憶地面為彎形而非平面，至所謂直上者，即指與地面成直角之方向，但根據球形之地球而論，則此名目又當應作何解耶，據幾何學云，圓球之每一半徑，皆與其表面成爲直角，故地球上任何一點之直上方向，即爲聯絡此點與地心之半徑繼續伸長之線，而此伸長之線與天球相接觸之處，即謂之天頂矣。（見十六圖）



第十六圖 天球及星之路線

星在虛線所指之路線上不能爲人所見或係在地平線下者。Z 爲 P 在地球上之天頂。而 P 之經線乃在本質 (Z/S/N') 之平面中。N', S' 爲天球之兩極。注意在天球赤道上之天頂之垂直距離 E'/Z 乃爲 P 之緯度也。

地平係與直上之方向相交而成直角，故在地球上某P點之地平線，即橫臥於與地球在P點交切之平面中；至吾人所謂之地平線，大抵均指在平地或海面上限制吾人視線之圓圈而言；吾人往往以此線與吾人之視線均同在一水平線上者，若以更精密之理論之，則吾人當以此爲地平線之平面與天球相切之圓圈，然在天文學中大都視地平線爲與直上方向成爲直角之天球大圓圈，蓋即所謂真地平也。（第十六圖參看第一章第十六頁）

地平緯度與地平經度 (altitude and azimuth) 第十六圖之所示，係表明天體運行於天空之概況；至天體在天空運行之程序，初時愈升愈高，直至達到子午線後始逐漸下沉，殆至抵地平線處遂沉沒而不能爲吾人目光所得見矣。

天體在地平線上之角度距離，是謂地平緯度，當天體交過地平線以至天球之子午線時，其地平緯度亦由零度逐漸變化以至於最高之度爲止。其天體最大之垂直距離，爲其子午線上之距離；據北半球測驗家之所見，則當太陽向南將近正午之時，即爲其最大之垂直距離，故一天體當其垂直距離在最高度之時，或可在正北（十六圖右方）亦或可在正南也。（左方）

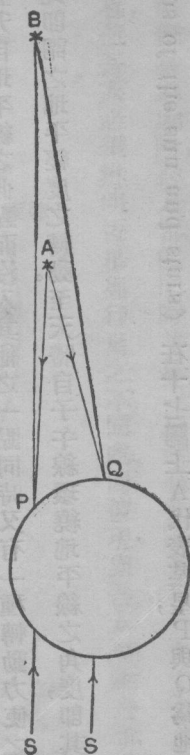
天體不僅背地平線而向前移動，且升自地平線之此點而沒入其他之一點，同時又有一種轉動力使之在地平線上由此點至彼點循環而轉動之，此即謂之地平經度之轉動。至天體自子午線環繞地平線之角度，即其地平經度。

太陽與恆星之觀察 (observations of the sun and stars) 在十七圖上A代表某星，P與Q爲地面上

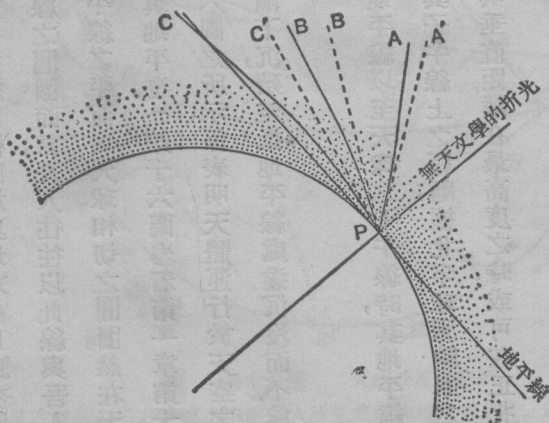
之兩點，於是A星乃沿PA線而入P地人之目，並沿QA線而入Q地人之目；且此兩線亦不在同一之方向，彼等方向之相差，適等於PAQ角之角度，

B為另一離地球較遠之星，PB與QB間方向之差，則為PBQ角。PBQ較PAQ角為小，吾人所知天體中離地最近者乃為太陽，然太陽相距如此之遠，其類似PAQ或PBQ之角，小至無從測度矣。故吾人不妨假定若從地球上之兩地同觀一星，或太陽，則其視線所沿之路，即成並行線，換言之，即自太陽或星球射至地球上各處之光線，皆為並行線，且自有此說則藉星球以為研究地理學之用，即可簡易不少也。

但光線必從外層之空間，經空氣而達地球，空氣之上層極稀薄，愈低則愈稠密，故光線經過空氣中時，即受折光之影響，（請參閱完善之初級物理教科書）有此折光之影響，則在地球上觀星球即可增加該星球表面之高度，（見十八圖）譬如



第十七圖



第十八圖 天文學的折光

AP, BP, CP 光自星至地球之路線；A'P, B'P, C'P 自P所見星之視方向

一較地平線略低之星視之，即如在地平線之上矣。（十八圖之C）天體之位置愈低，其光線射至地球時所經過之空氣必愈稠密，故所謂天文學之折光，其程度均依各星之位置而異。其近天頂之星，則其折光度爲零度，近地平線之星，則其折光度爲最高度，凡由地球觀察各星之垂直距離，必須計其折光度而核準之，其計算之法，雖有表可查，惟在低處之垂直距離，則其折光度並無一定，必須隨空氣之變遷而轉移，故又須按觀察之地點與時間而核算空氣之溫度與壓力焉；是以在選擇星球作參考之資料時，須於可能之範圍中，擇其垂直距離之最高者，庶幾其所經天文學之折光可以小而且準也。

儀器 (instruments)

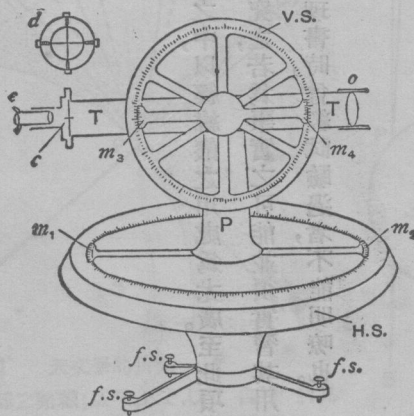
地理學上用以觀察太陽與星球之儀器，爲經緯儀與六分儀；兩者之中，以經緯儀之用處爲尤廣。至此項儀器之說明，於實際殊無所補，其所要者，則在學者之能目視是器而詳爲研究之，若爲事實之可能並須實習其用法焉。須知一遊尺（或測微鏡）之用法，亦非經實地練習或於研讀實用物理書時，曾經試驗過者，不能明瞭也。

經緯儀 (theodolite)

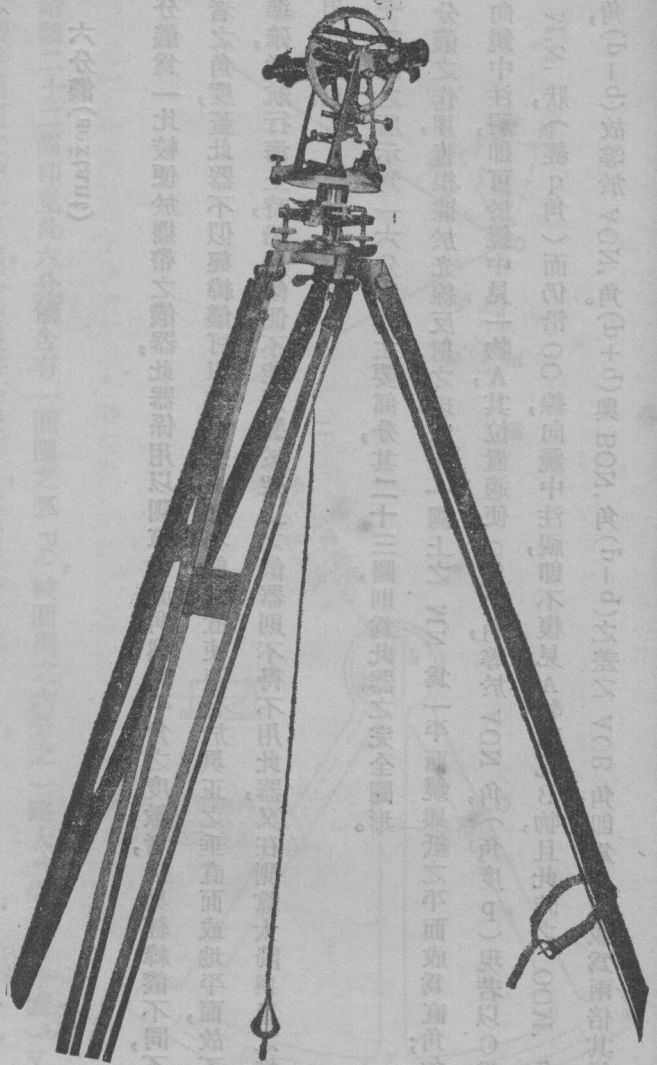
各種經緯儀之形式與構造，雖彼此略有不同；然其原理則一也，十九圖所示即經緯儀之一種，二十圖上則爲一轉鏡經緯儀之照像，十九圖上之HS爲一銅盤固定於一基腳上。基腳之下，則裝有螺旋腳三，賴有此螺旋腳乃

能使該銅盤確成爲水平之狀，盤上復裝有酒平器二，使彼此相交而成直角，以測該盤之水平度焉。其直立在銅盤上者爲一支柱P，此支柱之裝置，須能繞一直軸而旋轉；柱之左右又各裝定一遊尺B、B'，故柱轉而尺亦隨之而轉矣。盤之外圍，則嵌一刻有尺度之銀環；此項遊尺，即沿此銀環而移動焉。固定於支柱上者，爲一雙枝幹，上連二遊尺 $m_3 m_4$ ，其裝於支柱之上，並能使之轉動於一垂直之平面中者，則爲一望遠鏡；鏡之軸上則固定一銅製之垂直圓圈，上亦嵌有分度之銀環，其在望遠鏡之鏡片之聚光點C上，有以蛛網絲二縷組成之十字形，即謂之縱橫線也。（另以圖上之d示明之）此縱橫線乃裝於望遠鏡管中一可整理之金屬品之環上，使兩線一橫而一直，且使其交叉處適與光軸相對，於是乃將此儀器之全部裝於一堅固之三足架上，架高約三尺許，其腳上之包鐵處，則可插入泥中而使之穩固焉。

設吾人欲用經緯器以考察一星，須先將該器之水平盤放平之，並將該盤放至與地平線相平行，俾其盤上所刻之度數得成爲地平經度，——即環繞地平線所量得之角度；其刻於垂直環上之度數，則適與此成直角，至地平緯度則以地平線爲起點而量得者，於是吾人可將支柱（連同遊尺）旋轉，並將望遠鏡（連同垂直環）漸漸傾斜，使其遠處之一細點得映入於縱橫線之交叉處，然後記取其平面轉移及直面傾斜之度數焉。現又可用同樣之



第十九圖



第二十二圖 裝在堅固三腳架上的轉鏡經緯儀

方法以使星之影象映入於縱橫線之交又處，並仍將其度數記取之，其所得之地平緯度，即為星之地平緯度，而兩次地平經度之差，即為細點與星間之地平經度差；但吾人尚須將兩對遊尺所示之度數，一併錄下，而取用其平均

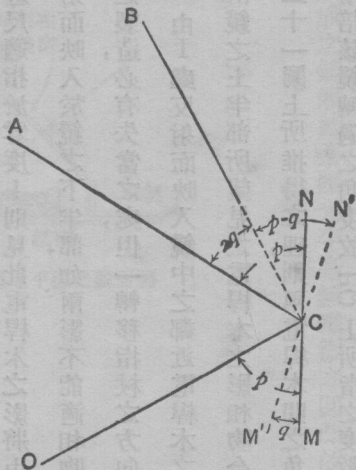
之數，藉以免除度數上之錯誤及因儀器不良而發生之錯誤也。經緯儀乃一極精緻極準確之貴重儀器，故用之者必須謹慎從事，如遇移動之時，亦必須握其最堅固之部分而移動之。

六分儀 (sextant)

六分儀爲一比較便於攜帶之儀器，此器係用以測算垂直角與地平角之度數者，但與經緯儀不同，不能同時測算二者之角度，蓋此器不似經緯儀可以裝於架上，亦不能配置使適合於真正之垂直面或地平面，故不能如經緯儀之準確，惟航行海上時，船身傾側不能用裝於架上之儀器，則不得不用此器，又在測算太陽與星之地平度時，亦恆用此器也。

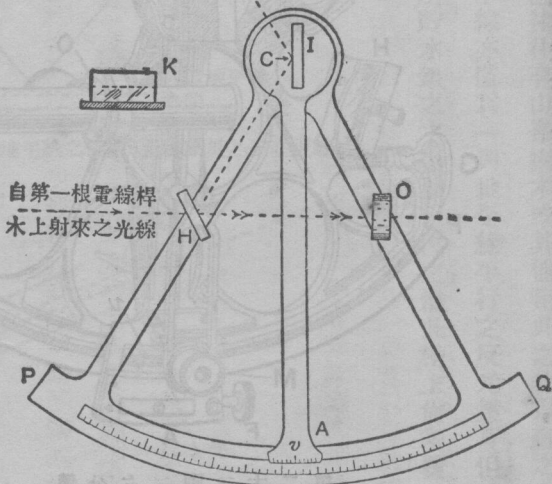
二十二圖之所示，爲一六分儀之主要部分，其二十三圖，則爲此器之完全圖形。

六分儀之作用，皆根據於光線反射之理，二十一圖上之 MN ，爲一平面鏡與紙之平面成爲直角；如有人沿 OC 線向鏡中注視，即可於鏡中見一物 A ，其位置適使 OCM 角，等於 ACN 角，（角度 P ）現若以 C 爲中樞，將鏡轉爲 $M'N'$ 狀，（經 q 角）而仍沿 OC 線，向鏡中注視，即不復見 A 物而見 B 物，且此時之 OCM' 角，即等於 BCN' 角，（ $p - q$ ）故等於 ACN' 角，（ $p + q$ ）與 BCN' 角，（ $p - q$ ）之差之 ACB 角，即爲 $2q$ 或爲兩倍其鏡所轉過之角。



第二十一圖

自第一根電線桿
水上射來之光線



第二十二圖 六分儀之簡圖虛線表示目光之視線

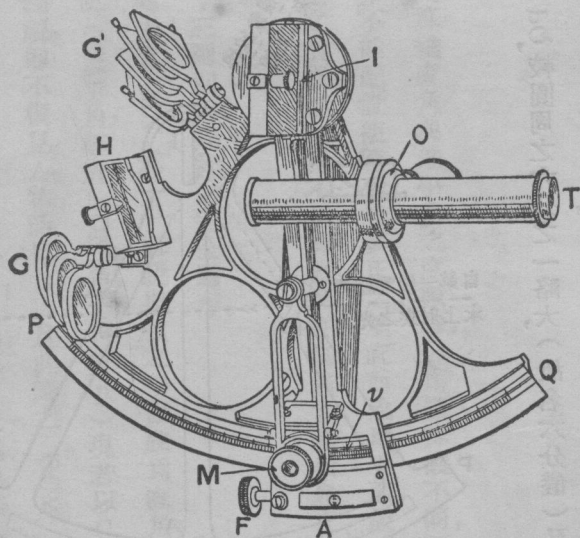
今請觀二十二圖，即見此六分儀含有一圓圈之弧 PM ，較圓周之六分之一略大，（故名六分儀）又有一銅指杖 IA 插於圓圈之中心 C 處，其外端連一遊尺 ∇ ，其緊附於該杖之上者，則為一平面鏡，即謂之指鏡，鏡之位置，係在 IA 之正中線上，其正面與紙相交成直角，其中心則覆於 C 上，其遊尺 ∇ 則沿一銀質或白金之比例尺上而轉動之；此比例尺即嵌於 PO 之上，其向 A 端為零度，向 P 端為一百二十或一百四十度，圖中之 H 為另一平面鏡，

其面向於O處，此鏡僅下半部之背面鑲有水銀，如K處所示者然，此種平面鏡，即謂之地平鏡，該鏡之裝置，在遊尺指於零度時適與I成平行線，至其O處，則為一環，可作窺望之口或裝置望遠鏡之用焉。

學者須知二十二圖之HC線，即為二十一圖之

○C，其OH之視線，係在H之下半部，可見C之反影者。今吾人如由O處經過H之上半部，不塗水銀之處，而望一遠處之物，譬如一電桿木，並將六分儀持平，使遊尺適指於零度上，則見此電桿木之影將由I處反射而映入於鏡之下半部，如兩影不能適相吻合，則H之製造，必有失當之處，但一轉移指杖之方向，即能使一由I處反射而映入鏡中之鄰近電桿木之影，可與由鏡之上半部所望見之電桿木之影相吻合，根據於二十一圖上所推得之理，則兩電桿木間之角度即為兩倍該鏡轉過之角度，故PQ上所指之度數，必兩倍於指鏡轉過之角度。

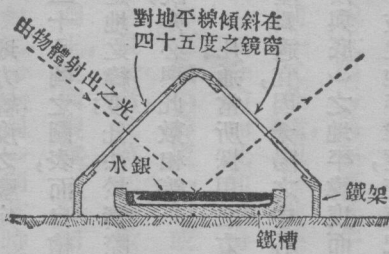
航行海面時，此種六分儀，恆有用之以使（使直立）太陽或星球映入於目光所能見之地平線上，而取得其



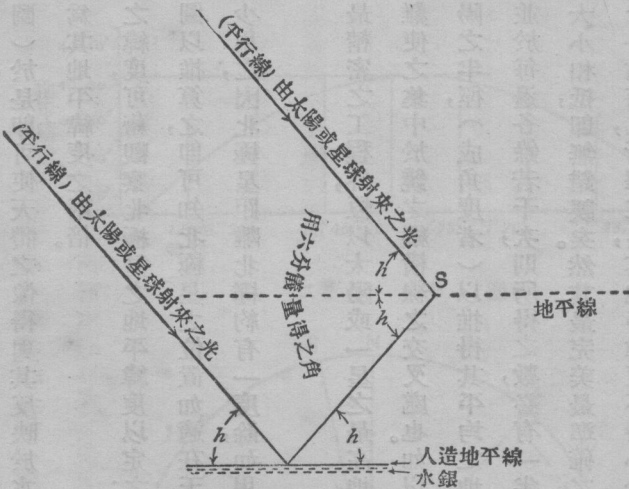
第二十三圖 六分儀

GG' 乃觀察太陽所用之避光鏡M為計算遊尺度數所用之顯微鏡

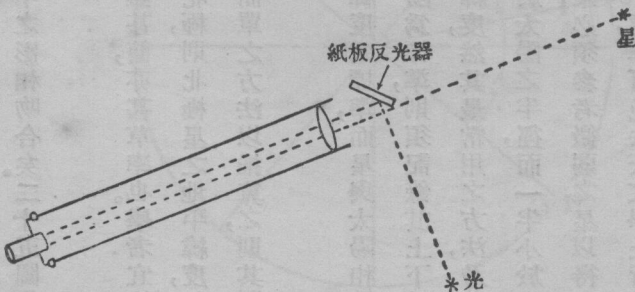
地平緯度者；若在陸地，則欲得一完善勻稱之地平線，殊非易事，因往往有山嶺樹木或其他類此之物以蔽之也。故爲避免此困難起見，即不得不用一種人造地平線，此人造之地平線亦僅爲一與地平線平行之反光鏡耳，但玻璃製成之鏡，頗難全體光平，毫無纖微之凹凸，故不若用一淺槽中所貯水銀之水平面以代之，惟此槽上尙須覆一玻



第二十四圖 所用人造地平線之截面圖



第二十五圖 人造地平線之使用 h 太陽或星之垂直距離



第二十六圖 經緯儀上之縱橫線顯明於夜間之圖

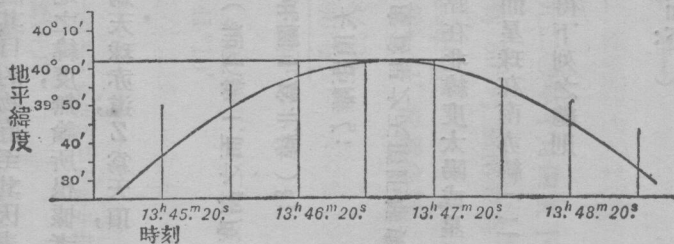
璃片以免風之吹盪。(二十四圖)於是即可使天體之像得與其反映於水銀中之影相吻合矣。二十五圖中，則可示明吾人測量所得之角度，乃爲其地平緯度之兩倍。

地方緯度之鑒定 地方之緯度，可藉觀察北極星之地平緯度以定之；法雖甚簡，亦甚草率也。學者宜依據第二十八圖之圖表，而自繪一草圖以推算之，即可知北極星之位置如適在天之北極，則北極星之地平緯度，卽等於地之緯度；此法於實際上殊少用之，因北極星距離北極約有一度餘，如用此簡單之方法以推算之，則其所得錯誤，亦必與此數相等。

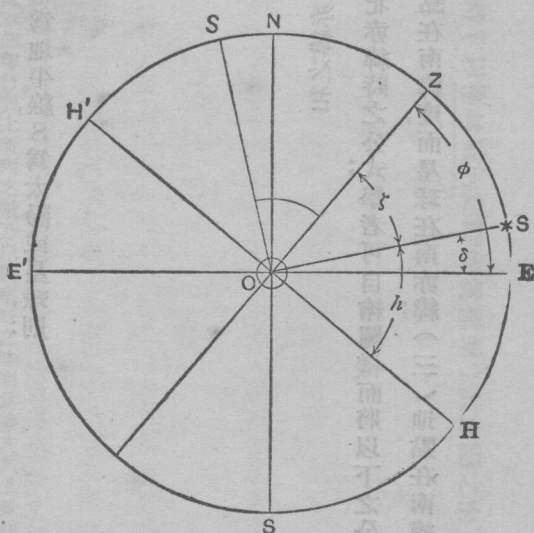
凡通常所採用之方法，除最精密之工程外，恆以太陽或一星之最高地平緯度爲標準，而星與太陽相較，尤以星爲適宜，因太陽之中心點，頗難使之集中於鏡之縱橫線之交叉處也。如以太陽爲標準，則須記錄其上下肢（卽頂與底）之地平緯度而取太陽之半徑，（成角度者）以推得其平均之地平緯度，然其最常用之方法，乃將其上下肢之地平緯度，交互記錄之，並於每邊各錄若干次，則所得之數，必有一半大於太陽之半徑，而一半小於太陽之半徑，但若祇用其平均之數，則大小相抵，卽無錯誤矣。然其最完美最準確之結果，必須參考微弱之星以得之；此微弱之星映入望遠鏡中，祇見白光一點而已，所擇之星，其地平緯度不得小於四十度，俾可免去天文學上折光之閃爍，且亦不可採用明朗耀目之星也，其最可靠之方法，須觀察有地平緯度相仿之星數對，每對之中，又須一星在南，一星在北，蓋其有天文學上折光之閃爍故也。如同時測驗二星，一在南，一在北，則其一星必因折光之關係而使其緯線過長，而其他一星之緯線，亦必因此而過短。惟其過長過短之數，則皆大約相同，又觀察星球，必以深夜，則亦一

便利之處；因此時空氣之情狀，較日間為少變化，而其折光之效用亦較為畫一也。但在深夜之間，其儀器上之縱橫線，若非用一種計畫如二十六圖者以顯明之，則殊不可見也。

所觀察者，是否為最大之地平緯度，即天體在子午線上之地平緯度，此事頗難斷定，故一切觀察，必須開始於星球（或太陽）將經過子午線時之前一二分鐘，以迄其經過以後一二分鐘，如此即可得大小不等之地平緯度一組，或用其數之最大者，或將其各數排列一圖上，使與觀察之時間相對（如二十七圖）則其時間與最大地平緯度，即可由圖而推得之，在求地平緯度時，須將望



第二十七圖



第二十八圖

遠鏡略偏於天體之前方而注視其目的物，直至其因表現運動而與縱橫線相接觸，並將其接觸之時間記明之。

由觀察天體而求得某地之緯度，無論所根據者為太陽或星球；其原理則一，二十八圖假定 ZNS 為天球之子午線， O 為地球， $E'E$ 為天球赤道， Z 為天頂， $H'H$ 為地平線， S 為太陽或星球，則：

$$Z\hat{O}E = \text{緯度 } \phi;$$

$$S\hat{O}H = \text{星之地平緯度 (地平線上面之高度) } h;$$

$$S\hat{O}E = \text{星之赤緯 (在此圖上為北緯) } \delta;$$

$$Z\hat{O}S = 90^\circ - h = \text{星之天頂距離 } \zeta;$$

$$\text{而 } \phi = \zeta + \delta \text{ 即地之緯度為星之天頂距離與星之赤緯之和}$$

二十八圖所繪，乃為地點在北緯度太陽或星球在北赤緯時之公式；學者可自繪圖樣而將以下之公式求得之。(一) 地點在北緯度，而星球在南赤緯；(二) 地點在南緯度，而星球在南赤緯；(三) 地點在南緯度，而星球在北赤緯，然後乃能求得下列之總則。

$$\pm \phi = \pm \delta \pm \zeta$$

其合式之符號則選定如下：

如地點在赤道以北 (北緯) 為 $\phi +$

如地點在赤道以南 (南緯) 為 $\phi -$

如星球在天頂以南爲 $\zeta +$

如星球在天頂以北爲 $\zeta -$

如星球在赤道以北爲 $\delta +$ (註一)

如星球在赤道以南爲 $\delta -$

茲吾人可舉一例假定一九二〇年十月四號下午二時 (以格林威治之時間爲標準) 其太陽之南子午地平緯度爲 $44^{\circ}21'$; 寒暑表爲 $50^{\circ}F$; 風雨表爲 $30"$

(註二)

$$h = 44^{\circ}21'$$

折光之糾正爲 $-01'$ 常爲負數

則糾正後之 h 爲 $44^{\circ}20'$

減自 $90^{\circ}00'$

$$\zeta + 45^{\circ}40'$$

而 δ (3/10/20下午二時) — $4^{\circ}21'$

故 $\phi +$ 爲 $41^{\circ}19'$

故地點即在北緯 $41^{\circ}19'$

(註一) 太陽或星球之赤緯，航海日曆上有表可查，此種日曆，每年由英國海軍部印行，表上所列之數，乃以觀察時之時間爲據，其表上並註明該赤緯係爲南赤緯 (—) 或北赤緯 (+) 焉。

(註二) 欲求折光之糾正，須參考數學天文或航海之統計表，更須按當時之溫度與氣壓表之高度而核準之。

太陽之經過時間，（即太陽經過子午線之時間）乃在下午二時；（格林威治標準時間）故知觀察之地點必不在格林威治之子午線上也。

欲求緯度之推測十分準確，則所用之方法，當與此略異；即在於先求得更精密之天體過子午線時之地平緯度，吾人對於此法，姑不詳論，惟其原理則與上述大概相同。上述法航行海面時往往多用之。

經度與時間 (Longitude and time)

地球繞軸旋轉，使各經線次第經過太陽或某指定之星球之下，而供給吾人以計算時間及推測經度之方策，蓋此兩者，乃有連帶關係者也。

太陽或星球每經二十四小時經過某指定之經線一次，吾人即定此為一晝夜；當太陽經過某地之經線時，其地之時間，即為正午，地球旋轉一週，需時二十四小時，一週為三百六十度；則每小時旋轉十五度，且因地球之自轉乃自西而東，是以在格林威治為正午時，在西經十五度則為正午之前一點鐘，在東經四十五度，則為午後三點鐘，故記錄經度之表上，有時乃以時間為單位而不以角度為單位。

二十四點鐘等於三百六十度。

一點鐘等於十五度。

一度等於四分鐘。

一分鐘等於十五分角度。

一分度等於四秒鐘。

一秒鐘等於十五秒角度。

h m s 等於時間之時、分、秒，° ' " 等於角度之度、分、秒。

譬如，西經 $66^{\circ}24'15''$ = 經 h m s
度 4 25 37

$$\begin{aligned} \text{因 } 66^{\circ} &= 15^{\circ} \times 4 + 6^{\circ} = 4 \ 24 \ 0 \\ 24' &= 15' + 9' = 0 \ 1 \ 36 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} 15'' = 0 \ 0 \ 1 \\ \hline \text{故爲 } 4 \ 25 \ 37 \end{array}$$

如此則一地之經度，祇爲其地在格林威治正午時之時間，如地在西經，即可一目了然；若地在東經，則其地之正午必較格林威治之正午爲早，茲爲計算時間上之便利起見，不可將一日分爲兩個十二小時，須自今日正午至明日正午以總數二十四小時計算之。譬如今日正午爲零時，明日之正午前十分即爲二十三時五十分也。

故，例如 東經 $24^{\circ}47'45''$ 之時間爲 時 分 秒

$$\begin{aligned} \text{因 } 24^{\circ} &= 15^{\circ} + 9^{\circ} = 1 \ 36 \ 0 \\ 47' &= 15' \times 3 + 2' = 0 \ 3 \ 8 \\ 45'' &= 15'' \times 3 = 0 \ 0 \ 3 \end{aligned}$$

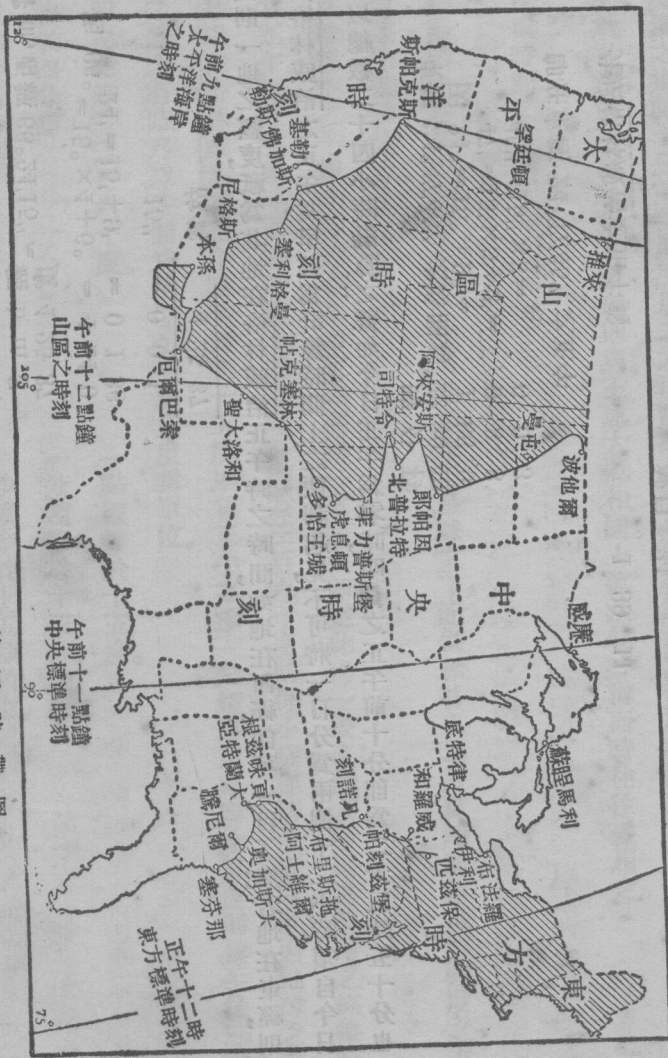
即在東經 $24^{\circ}47'45''$ 之正午

$$\begin{array}{r} \text{先於格林威治之正午爲} \\ 1 \ 39 \ 11 \\ \hline \text{減自 } 24 \\ \hline 22 \ 20 \ 49 \end{array}$$

則其地之經度或其他格林威治時間之正午爲 22 20 49

由此觀之，則吾人如攜一對準格林威治時間之手表至某地以測度其地之經度，則祇須在太陽經過其地之

天球子午線時，一察此手表，其表上所指之時刻，即其地之經度也。（以時間為標準）
 本地時間與標準時間 (local time and standard time) 一地之午時，即太陽在其地經線時之時刻，



第二十九圖 美國時帶圖

故在同一經線上之各處，必同時爲正午，而在不同之經線上之各處，其正午之時刻，即各不同；凡依各地之正午爲起點而計算之時刻，謂之本地時刻，然在各地，若均用其本地時刻，則其時刻必至十分混亂，故通常須將地球劃分爲時帶，而以經度距離十五度或時間相差一時之地爲一帶，在同一帶內各處之時間，必以此帶之中央經線爲標準，此種時間謂之標準時間。

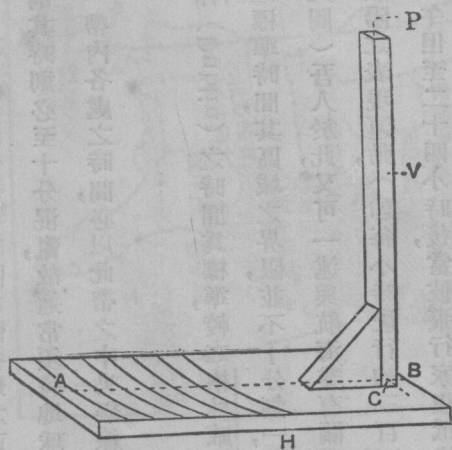
英國以格林威治時間爲標準，愛爾蘭 (Ireland) 則以達普林 (Dublin) 之時間爲標準，較之格林威治之時間須遲二十五分二·一秒，北美亦用標準時間，惟各區所遵守之標準時間，其區域之界限，並不十分劃一，以冀鐵路及其他交通要道上變更時間之不便可以減少耳。（見二十九圖）吾人於此，又可一述與航海業有關係之時間問題焉。設有一飛行家於星期一正午在格林威治起程，追蹤太陽之表現運動，（即每小時駛行約三百五十英里之非常速率）繞地球而向西行，則其一路所經之地，必皆在正午，但至二十四小時後，當彼飛行家復抵格林威治時，則此時之正午爲星期一之正午，抑爲星期二之正午耶，則必爲星期二之正午也。然則此種變化，又在何時發生哉；蓋在西班牙人第一次由和輪角 (Horn) 西向而環行地球一周之後，各旅客於回至西班牙 (Spain) 時，莫不深異彼等所過日期，竟較日曆少一日焉；故凡船向西行必於繞過地球一半之時，即須多加一日，如向東行則須減去一日，現在各國皆公認以萬國日期界線爲改動日期之界限，是線大致與第一百八十道之經線相符合，其大部分處皆經過大洋之中，是以在阿拉斯加 (Alaska) 之西部爲星期一，在西比利亞 (Siberia) 則爲星期二，西比利亞之居民，來自西方，即來自亞洲之內部，阿拉斯加，前曾隸屬俄國，彼時該處爲星期二，及越界而至坎拿大

(Canada) 卽爲星期一，嗣後阿拉斯加爲合衆國所有，而其日曆上卽須遲一日焉，故日期界線之所以不能與第一百八十經線完全吻合者，卽以此故，及因有其他相同之理由也。

太陽時 (solar time)

太陽並非一完美之記時器，學者可用下述之法證明之，試取一長約二呎闊約六吋或六吋餘厚約半吋或半吋餘之板H，卽在板之中央劃一AB線，(見三十圖)又以離線之一端約一英寸之處爲中心C，而劃半徑三十四五……英寸之圓圈，然後裝一長約二十三吋平截面一吋見方之木條V於C上，使與板相接成直角，木條之上端插一長針或細釘P，約與C對直，並斷去其頭，使突出於木條者約一吋，此器實卽古之日晷儀六分儀之最初代用器也。此器可移置戶外之地，使AB線約正對於南北而木條之一端，則適爲北向，並須裝置穩固使不至爲風或獸類所推翻，且其安置之處，必須能經久不移焉。

此種儀器僅適用於晴朗之日，若在冬令，則雖用於晴朗之日，而其基板或尙嫌太短也。用此器之第一步，乃在測準子午線，當每



圖三十 日晷儀

日太陽在子午線時，木條之影最短，故在旁午之時，可立於木條之旁，靜觀其影逐漸縮短，則所畫之圓圈，即可使測度子午線之結果，差爲準確，當影最短之時，可於針影之外端，劃一標記，然後自標記處劃一線至C處，則此線卽爲南北線矣。

欲測準子午線上之某點，其較善之方法乃如此，設在正午前二小時，其影適在基板之上，則其外端，當可與一圓圈相近；待其影正移至圈上時，卽於其處畫一標記，並將其時刻記下，及至午後約二時許，可復至其處；及該伸長之影之外端經過上述之圓圈時，乃復標識其處，此兩點在子午線兩邊之距離，乃彼此相等；而此子午線並可將連貫此兩點之線對分而成直角，若復用此法試之於其他各圈，卽能得子午線之測定點數點，如所得之結果皆相吻合，則該線所定之方位，必甚準確。

日晷儀之南北線，既已對準，如有閒暇，則每當晴朗之日儘可於正午時往觀此儀器，並將其針影經過子午線之準確時刻記之於書，此種試驗能持之以恆，則或有一日可見針影經過子午線之時刻，適爲吾人之時計上之十二點鐘；然此種巧事，殊不常有，蓋由於吾人時計上所守之時刻，乃爲格林威治時刻，惟吾人亦可由地圖上以覺得所居地之經度，然後計算其地之正午與格林威治之正午彼此相差若干，則吾人卽可知雖當地之正午，而太陽亦不常在其地之子午線。至本地之正午與太陽交過時所差之時刻，則日有不同，大約經時一月須相差二分至十分鐘之數。

太陽經過某地之時間，謂之本地視正午，按本地時刻之鐘上所指之正午，謂之本地平均正午，至兩者之差數，

則爲之時差，格林威治之正午，其一年中每日之時差及其差率，咸載明於航海日曆上，學者可研究航海日曆上一年中每月之第一二兩頁，即可知一年中之時差爲多少，及其差率之大略焉。

時鐘所守之時刻，爲之平均太陽時，乃根據歷年太陽經過子午線之平均時刻；而太陽所守之時刻，則爲之視太陽時，卽日晷上所指之時刻也。

恆星時 (sidereal time)

恆星與太陽相似，亦可用作計時之標準，以恆星爲標準而推得之時刻，爲之恆星時刻，本地恆星之正午，卽爲春分點經過其地子午線之時；(註一)春分點附近今已無恆星，但在古昔之時，春分點乃在白羊宮之星座內，現此點則已入於雙魚宮之星座內，惟通常稱春分點在天球上之位置則仍稱爲白羊宮之第一點，並用 γ 之記號以表示之。

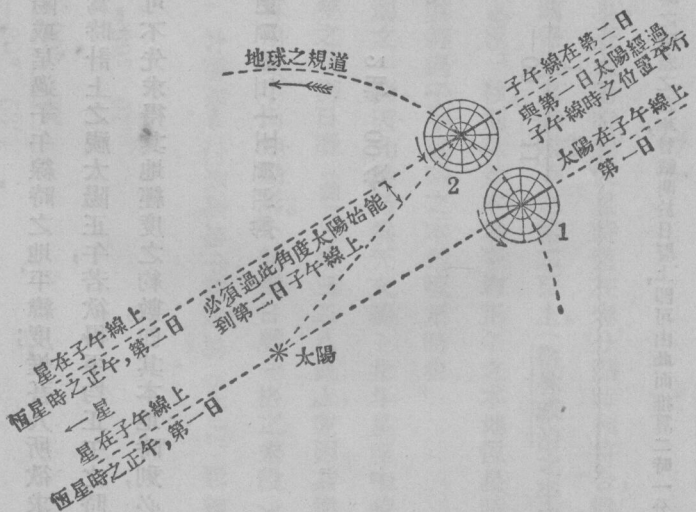
恆星日約較太陽日短四分鐘，譬如星期一當太陽經過天球之子午線時，地球乃在 1 處。(見三十一圖)至星期二地球於繞軸自轉一週之後，已移至 2 處，而天球之子午線將與其在 1 處之位置平行，此時之太陽，卽不在

(註一)如以子午線爲一完整之圓圈，則每一天體每日必經過此子午線二次，太陽正午爲太陽經過子午線上半圈時之時刻，其經過下半圈之時則在子夜，大抵不能見也。恆星正午乃以春分點之上過渡點爲標準，有若干恆星經過上半圈與下半圈之時，在白天皆能見之，惟必須

借助於望遠鏡耳。(參觀第十六圖)

天球子午線上，必須地球轉過圖中所表示之額外角度，始到視正午也。茲假定某星在星期一與太陽同時在此子午線上，惟星距地球較太陽遠甚，故地球雖已移至2處，而此星仍能發現於子午線上，是以恆星正午與太陽正午，若此星期一係彼此相同者，在星期二該恆星之正午必較早四分鐘，因地球轉過此額外角度約須時四分鐘也。學者由此推究，即可得太陽在恆星中之視動之理解矣。

恆星日與太陽日長短之差，大約一年之中，須相差一恆星日；故一年中共有太陽日三百六十五日又四分之一，而恆星日則為三百六十六日又四分之一。恆星時與太陽時祇經過春分點時，係彼此相同；除此而外，則恆星時超過於太陽時，凡數學表與其他統計表以及航海日曆皆列有公式可以化恆星時為平均太陽時，又可化平均太陽時為恆星時；學者如欲推算，則可參看辰伯茲及其他諸表也。



第 三 十 一 圖

時刻之觀測 (observation for time)

欲推測時刻，可依上論緯度一節中之所述，借助於太陽或星過子午線時之地平緯度；惟吾人所欲求者，乃為星或太陽經過子午線之時刻，以太陽而論，則此種時刻，即為時計上之視太陽正午，若欲得平均正午之時刻，則須將時差加入而計算之，而欲知經過子午線時之時差，更不可不先求得其地經度之約數，即其本地時刻，必先約略知之也。

例如太陽在最高地平緯度之時刻如本書第三十四頁至三十五頁所載

經度約數為西經 $30^{\circ}15'$ 。

觀察所得之經過子午線之格林威治平均時間為 2 時 00 分

(註一) 格林威治視正午之時差 11 分 13.59 秒

(註二) 經度之糾正 $0.76 \text{秒} \times 2 \frac{1}{60}$ 1.53

(註三) 觀察時之時差
故本地平均正午之格林威治平均時間為

11	15.12	—00	11
		1	49

(註一) 參考航海日曆一九二〇年十月份第一頁

(註二) 經度為西經三十度十五分等於時間上之二時〇一分，而一小時之時差之差率，曾載明於日曆上，即可由此而推算二時一分之差率矣。

(註三) 觀察時既僅以分為限故秒度可以略去。

即本地平均正午時計（格林威治平均時）所指為 1.49，或本地之平均時間比格林威治之時間遲一點四十九分也。

恆星之觀察，較為複雜，因吾人必須用恆星時為標準也。查太陽時與恆星時僅在春分點時相符合，餘時即不相同，惟其每日相差之數，則載明於航海日曆中，每月份有關係恆星時項下之第二頁上，（格林威治之平均正午。）現此相差之數，既自格林威治平均正午之後，每小時須增 986" 秒，則欲知本地平均正午之本地恆星時，必先求得其經度之約數然後略加思索，即可知一星之赤經度，即其經過子午線時之本地恆星時也。

吾人姑以觀察大熊星^a為藉恆星以推測緯度及時刻之一例，因此星乃為天文圖上北斗星座中較近北極星之一星（見十四圖）（註一）其位置則載明一九二〇年之航海日曆（註二）第三二八頁上，並因其赤經與赤緯之變動既僅數秒，而吾人之計算又係以分為限，故吾人可用其平均地點焉。（航海日曆一格之末段）

例如 在一九二〇年十月五日上午八時十六分，大熊星^a之最高地平緯度為 $69^{\circ}07'$ 該星在天頂之北：經度約西經 $30^{\circ}15'$ 。

(1) 求緯度 $h = \text{地平緯度}$
 (天文學之折光 $22''$ ；略去)

減自	$90^{\circ} 00'$	
	$-20^{\circ} 53'$	ζ
	$+62 11'$	
	$+41 18'$	ϕ

8 (航海日曆三二八頁)

緯度為北，41°18'

(2) 求時間 (a) 在本地平均正午時之本地恆星時。

在格林威治平均正午時之格林威治恆星時 (航海日曆第十一頁)

(注意) (十月五日上午八時十六分依天文學計算應為十月四日二十時十六分。)

經度之校準在每小時為 9.86 秒，二時一分為

故在本地平均正午時之本地恆星時為 (分數之最近數) =

(b) 星之赤經 (航海日曆第三二八頁)

(註三) 赤經較本地平均正午之本地恆星時為少，故加

本地平均正午時之本地恆星時為

故本地平均正午後恆星經過子午線時之恆星時及分為

(c) 化成平均時，22 小時 (恆星的)

一九二〇年航海日曆五四二頁

07 分化成平均時

觀察時本地平均時

觀察時時計上所指之時

時 分 秒
12 51 29

+
12 52 00

時 分
10 59

24

34 59
12 52

22 07

時 分 秒
21 56 24

06 59

22 03 (23)

20 16

此項觀察使時計所指之時較本地平均時快一時四十七分較第四十四頁所述之由觀察太陽而求得之數相差二分鐘。

又有一方法，則爲等地平緯度法。約於太陽或恆星經過子午線之前二三小時（即太陽約在上午九時）將經緯儀安置妥當而記取此天體與望遠鏡中之橫線接觸之時刻；又將望遠鏡之傾斜度固定，然後任其植立於彼處；及天體經過子午線後約三小時之譜，乃將儀器之地平經度改移之，其地平緯度則仍其舊，俾目的物得以映入於視線範圍之內，並記取恆星或太陽與橫線接觸之時間，於是吾人即已求得一天體未達子午線前上升至某一地平緯度之時間，及其既達子午線後下降至同一地平緯度之時間。其經過子午線時刻，即在此兩者之中途，故吾人

（註一）學者最好能參考一種普通天文學之書，以研究關係此章內所述各項，俾能略知恆星之大概，並爲研究恆星之用。學者尙須購一倫敦非力伯父之地理圖誌公司（G. Philip and Son, Geographical Publisher, London）所出版之簡明天球誌。

（註二）吾人所用下列之略號：—N.A. 爲航海日曆；又 I.S.T., G.S.T., L.M.N., G.M.N., L.M.T., G.M.T., L.A.T., G.A.T., L.A.N., G.A.N., 各略號中其 L 爲本地，G 爲格林威治，S 爲恆星，M 爲平均，T 爲時刻，N 爲正午，又 R.A. 爲赤經，Decl 爲赤緯，至其餘之符號則前已用之矣。

（註三）恆星經過子午線之時，乃在本地恆星時十時五十九分，即比本地平均正午時早一時五十三分。（恆星之時分）蓋本地平均正午時，爲本地恆星時十二時五十二分，但計時之法，恆以正午爲起點，故必減去一時五十三分乃可得其由前一日之正午算起，以至此時之時刻。若用上述之法計算，則其法既較簡單，而其結果則仍相同也。

即取此兩時間之平均數爲該天體經過子午線之時刻而按上述之公式以解之；如所觀察者爲太陽，則在觀察時內其赤緯已略有移動，故必須較準之，雖有時在第一次之觀察乃爲天朗氣清之時，而在第二次觀察時，則已薄有雲霧，不克觀測，然以此法求得之結果，則皆甚準確。

上述各法，皆非尋常所用者，第二法不適宜於航海時之用，其理至爲明顯；最普通之法，其中亦須略用球體三角之學識，學者欲知其詳，必須參考關於航海學測量學及天文學等書，此處僅述其大要，其餘則使學者求之於他書可也。

時角 (hour angle)

天體在地球上某地之時角，即此天體之赤經與該地之經線中間之角度，故其量法與量赤經或經度之角度同，（見三十二圖）當天體在經線上時，如在上過渡點則時角爲零度，如在下過渡點則爲十二時，或一百八十度，因地球之自轉有一定之規則，故時角之更移，亦有一定；如吾人能於無論何時測定一天體之時角，即能得悉天體將經過經線之時間，並照上述之法，因以求得本地之平均正午焉。惟吾人如欲爲則須先分解此球體三角形 ZNB ， ZN 爲其地之緯度餘角 X ； ZB 爲天體之兩極距離 P ， NB 爲天體之天頂距離 S ，今所欲求者爲 ϕ ， P 乃由航海日曆之赤緯表內所推得， S 則由觀察天體之地平緯度 H 而得者；吾人分解此球體三角形而得 ZNB 角，而此角則與天體之時角 EOR 相同也。

航行海上時，欲因太陽以觀時刻，大約須在上午九時；學者試一參考第十六圖上天體所循行之軌道即可知當天體在過渡點時乃橫行穿過子午線者，及行抵兩過渡點之中道時則幾與地面垂直而行，天體離子午線愈遠，其地平緯度之變更較近子午線時爲速，故觀察地平緯度之時刻，須擇天體近子午線之時，始能較爲準確，此通常所以皆用此法也。

經度 (longitude)

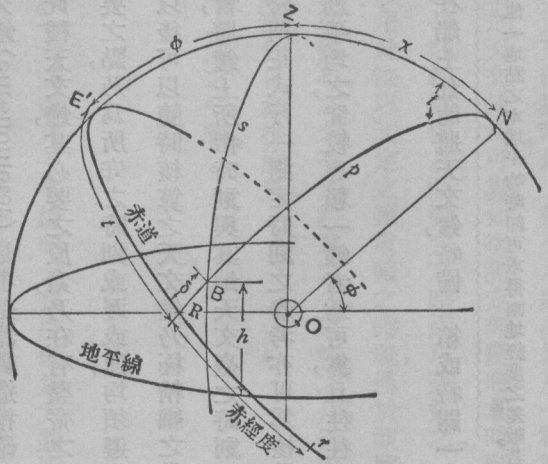
由上法吾人可以求得某地之本地平均時刻。如吾人時計之所守者，如爲格林威治平均時，則可推得曾經吾人實地測過之地點本地平均時與格林威治平均時之差數爲幾何

矣。例如在上述兩個例證內所舉之地點，據觀察所得其格林威治平均正午與本地平均正午中間之平均差爲 $\frac{1}{2}$ (1時49分 + 1時47分) 或 1時48分，故是地之經度，以時爲標準，則爲一時四十八分，化成度數，則爲：

$$1 \text{ 時} = 15^{\circ}$$

$$48 \text{ 分} = 4 \times 12 = 12^{\circ} 00'$$

故是地之經度乃爲西經 $127^{\circ} 00'$



第三十二圖

NZE' 觀測地點之赤經 NB 天體 B 之赤經與赤道相切於 R 處

爲測定經度起見，吾人必須：（一）測得本地之平均時。（二）得悉格林威治之平均時。（註一）現姑就其第二項而詳論之。

吾人常假定吾人之時計，係遵守格林威治之平均時者，但其所報之時刻往往至分而止，故吾人之例題內，亦僅算至分數爲限；此種時計，雖亦可稱爲完善之計時器，然尙不足以供準確測定經度之用，若欲攜帶時計以爲測定經度之用，如在海上則須攜帶一種特別計時器，即所謂天文鐘（chronometer）是也。是器製造精確，一秒鐘之微，亦能表示清楚，且多爲每半秒鐘一拍，或一「滴搭」者。惟此種天文鐘，其必要之原素，乃在有整齊之行動，蓋此器並不遵守準確之時間而所守時刻亦不能毫無參差，其重要之點，乃爲所守之時刻或遲或速，均須遵守一已知之定率，且在出發時必須察得其與標準時相差之程度，以便以後可以隨時核算之。天文鐘乃極精細之儀器，故攝取及收藏時均須格外謹慎。當船舶停於港口時，即須利用機會，將鐘上所指時刻與其地天文臺之時刻互相比較，後對準其差率，即較速或較遲之率也。如船在該地須停船幾時，則正式行一測定時刻之參考，亦可爲核準天文鐘之差率之一助，且所攜帶之鐘，須不止一隻，因取數鐘所指時刻平均之，究較專賴一鐘者爲可靠，且往往於諸鐘中可取一鐘以遵守恆星時焉。

氣候之變換，及劇烈之震動，足以混亂天文鐘之差率；凡在船上如能將天文鐘，特備一箱或特闢一室以貯之，

（註一）格林威治之平均時，在實際雖常用之，然學者當能明瞭，苟知任何其他一地點之本地平均時即可求得兩地經度之差數，若所知地方平均時之地之經度，已爲吾人所知悉，則觀測地之格林威治之經度，亦可從而推得焉。

即可避免此弊。然如攜之旅行於陸地上，則其弊端即難幸免；故天文鐘於陸地上殊少用處，必須用一種製造精良之時計名半天文鐘之時計以代之，然終不若小心保管於船上之天文鐘爲可靠，如欲測定經度時，其時計至少須留存於該處一星期，庶其差率差可達於一致而其差率且可藉夜間觀察恆星而測定之時刻以查對之。

格林威治之時，可藉電報通告於他處，其各地之經度則多用此法以測定之；雖電報之時號，僅於觀察時及觀察以前以之查對及較準時計之用，但其所得之結果，顯能較爲準確也。在未有無線電之先，電報之用，僅限於電報可通之各處；自有便於攜帶之無線電具以來，而應用此法之範圍，始日漸推廣焉。

借觀察星象以求得格林威治時之直接方法，學者可參考上述之各書。

地平經度或方向 (azimuth or bearing)

學者須知地平經度之觀察均在大圓圈之平面中之行，凡一大圓圈與子午線間之角度，即爲大圓圈之地平經度或其真方向，故三十二圖中 $\angle NNB$ 角，乃爲 B 星在 Z 處，（或在地面上相符合之點）之地平經度，或其真方向，吾人計算地平經度乃自北方特向東方或如表針繞行表面之式，故地平經度乃自零度而至三百六十度者。其北爲零度，東爲九十度，南爲一百八十度，西爲二百七十度，西北則爲三百十五度。

學者當注意 Z 自 B 處起之地平經度，或真方向，乃爲角度 $(360^\circ - \angle NBZ)$ 而 $\angle NBZ$ 兩角度，則並不相等，故自某點 A 至另一點之真方向，亦不帶與自 B 至 A 之真方向相同，此蓋由於經線之會合性所致也。求地平經

度最簡單之方法，乃為藉太陽或者恆星之南中點以測定其經線；譬如吾人欲得自A至B之真方向，（欲得精確之結果B之距離不可少於半英里）則須立一小標記於B處，將經緯儀平立於A處，而使B處之標記映入於縱橫線上，然後記取其平行圈上所指之度數，而假定其度數為十四度五十一分，於是乃將經緯儀轉向太陽或恆星，並於天體在最高點時再錄下其平行圈上之度數而假定為二九三度一七分，於是

B之度數

14°51'

因此數既較小於經線之度數而所需要者

乃自經線至B之角度並非自B至經線之角度，加

360°

經線之度數

374°5'
293°17'

B在A地之地平經度

81°34'

此即所稱之南經線方向，其計算之法，乃自南方起依表針所行之方向而旋轉者，欲求北經線方向則可遵上述之法而自北起算並須加上一八〇度，（如南經線方向大於一八〇度則須減去一八〇度）於是B自A處所取之方向，即為二六一度三四分，學者對於每一格式宜列一圖表以免錯誤也。

證諸上述之種種，即可知此乃一極粗率之方法；然試一回顧三十二圖，則知由三角形BZN，可求得角度

NZB，即恆星B在Z處之方向。如觀察中有一地上之物件C，則吾人即能在地平圓圈上查得至C及至B之角度而計算之如下：

(1) 已觀察之地平角度

79°14' 〇〇〇 故在觀察點上

217°29' 〇〇〇 故在觀察點上

138°15' 〇〇〇 與一里間之半

114°57' 〇〇〇 於北緯又之一

138°15' 〇〇〇 北緯又與之一

253°12' 〇〇〇 北緯又與之一

故AB之地平經度乃為

B至C之角度

B至C之角度

B至C之角度

B至C之角度

B至C之角度

B至C之角度

第三章 地圖製造法 I (The Making of Maps—I)

地圖之圖樣——地圖繪法 (the plan of the map—map projection)

地圖者，地理學家之圖表也。地理學家有此種之圖表，即可據其點、線、符號、或通用之標記，而將其所知於地球者，合準比例尺度，依次概括表出之。

製造極大之地圖，既有種種之不便，故製圖之時，必須採用一種縮小之比例尺度。若地圖上每一距離，等於地球上同等距離千分之一，則該地圖之比例尺度，謂之表率分數；此分數有時稱為天然比例尺度。凡在此項地圖上一寸之長，即代表地面上一千寸長，一生的米突，即代表一千生的米突；倘化成米突或碼，則其比例尺度之一寸，即等於二十八碼而弱，或一生的米突，等於十米突是也，又一里之中既含有六三三六〇寸，則天然比例尺之一寸與一里之比例乃為一與六三三六〇，其表率分數則為 $\frac{1}{63360}$ 。以此類推，則天然比例尺之六寸與一里間之表率分數，即為 $\frac{1}{10560}$ 。吾人所居之地球，假使用一直徑十二寸之地球儀以代表之，則其表率分數之比例尺度為 $\frac{12}{7920} \times 63360$ ，因地球之直徑為七九二〇里，若一計算之，則其比例為一與四二〇〇〇〇〇〇，故在地球儀上每一距離，即等於地球上同等距離四千二百萬分之一也。

此章所論，僅及地圖之三種，即世界地圖、地圖集、及地形地圖也。此三種地圖之主要不同點全在其所代表之面積，若面積大者，則其比例尺度即較小，比例尺度愈小，則其圖上代表地形之地位亦愈小，故在小尺度之地圖中，祇有主要之地形，可以概括列入，其他詳細之地形，則斷難一一繪入也。

世界地圖之意義，乃指彼一紙之上須繪畫世界全圖，或大於半球之圖而言，此項地圖之繪畫，恆用最小之尺度爲之；其所指示者，甚爲簡略，即最精細者，亦祇較彼簡明之圖解略爲詳細耳。地圖集者，即尋常成冊之地理圖也，每一地圖，可代表地面之一大部分；或一國，或一洲，極其所至，可佔經緯度數度之廣袤，故其比例尺度，雖較世界地圖爲大，實亦甚爲微小，其比例尺度，大約皆較小於二百萬分之一，或爲一寸等於三十里者；但其所記載，則較彼世界地圖，已略爲詳晰矣。此種地圖中，多刻有一種里數之比例尺度，惟以測量距離，則殊不準確，因每一地圖，均不免有構造上之錯誤；大凡尺度愈小者，則其代表之面積必愈大，而其錯誤之處，亦愈顯明也。

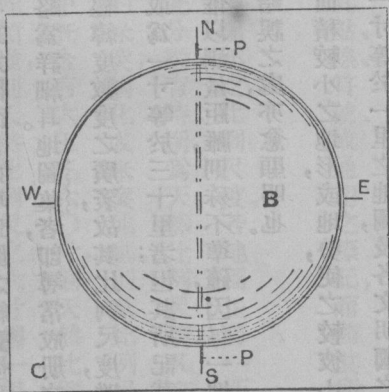
地形地圖之製造，恆用較大之比例尺度，因其目的，係在代表面積較小之地形，或地勢，使之較彼小地圖集中所能代表者，尤爲詳盡，故凡英國參謀部（Ordnance）測量局之一寸等於一里之地圖，及各文明國之國家地圖，均屬於此類焉。此項地圖所有構造上不能免之錯誤，並不顯著，而其圖上之距離，亦能測得較準確也。

凡各地圖之所以有構造上之錯誤者，乃因地圖於一平面之紙上，須代表地球之弧面耳。設有郵票一枚，可使貼於一十二寸之地球儀上，（註一）一如貼於信封上之平正，若易以一二寸見方之紙，則其結果即不同；無論在地

（註一）學者若欲用一較小或較大之地球儀以試驗此節或下節之所述，當用與該球相配之較大或較小之紙以試之。

球儀之任何部分，該紙皆不能平貼於其上，但將其紙浸溼，亦可使幾如郵票之緊貼於地球儀之上，然其紙若有兩倍之大，則即浸溼之後，亦不能使之緊貼於地球儀上而無皺摺之弊矣。

試驗地圖構造上之錯誤，除上述法外，尚可用另一方法以解決之；即取一直徑約三四寸之廉價橡皮球，自其上截下兩個大小相等之弧三角，惟欲求此截下之三角大小合宜，彼此相等，則其截割之法，莫善於用下列之法行之，試將硬紙板一塊，剪成一與球徑相等之圓孔，而在孔之邊際，共畫標記四處，每處相距各九十度，（圖三十三）然後將紙板平平架起，使其與桌面相距，恰等於與球之半徑減去硬紙之厚；於是乃將球置於紙板之圓孔中，用針在該球與紙板上每一標記相對之處，各刺一小洞，再用一細小之結衣針，由此端所刺之孔，穿過彼端之孔；此時可將紙板稍稍升起，將結衣針之兩端，緊緊繫於紙板之上，俾球與針旋轉時針不至移動，然後以針作軸，使球繞之而轉，再於紙板上別一標記之處，以鉛筆之尖端抵住該球，即可於該球上畫成一大圓圈，再將結衣針通過其他所刺之兩小孔；復依照前法，畫成一大圓圈於球上，然後在此兩大圓圈相交之點，再將該球穿兩小孔，用結衣針穿入所刺之孔中，即可畫成一第三之大圓圈，此三大圓圈，彼此皆互成直角，並將該球平分而為八個弧三角，然後取出其二，將此三角，置於彼三角上，即在上方三角之正中處，用一針通過之，則此



第三十三圖 紙板C 連橡皮球在其圓孔中N, S, E, W 為紙板上之標記彼此相距各九十度 針P 則為穿過橡皮球者

兩三角上，即可得一相同之點，然後將此點用墨水塗過，以便日後易於尋覓；並於此兩角中，檢取其一，使其裏面向下，用橡皮膠或其他膠質，將其膠固於一平正之木片上，再用重物壓住，使其得以保持平正之狀態，直至膠質牢固之後爲度，然一弧三角必不能使其自然平貼於木片之上，必須將其彎度壓平，始能貼伏，但經此一壓則其形狀，即須變更，或遂呈爲歪斜；吾人於此，即可於其膠質牢固之後，一量其歪斜之程度，其法將此兩三角相同之距離，如邊線之長短，及由吾人所標記之三角正中點，至其三尖頂，及三邊線適中處之距離，均一一量而比較之，然後畫一四格之表，先將壓平三角上所量得之長度列入第一格中，次將別一三角上所量得類似之長度列入於第二格，次將彼此之差數，列入於第三格，然後再將在第二格中代表長度百分數之差數，列入第四格中，於是吾人一觀此表，即可察得其歪斜之程度，或一代表地球儀八分之一之地圖中所有構造上之錯誤矣。

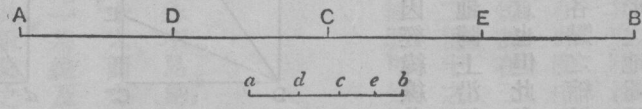
由上述之論觀之，則欲表明弧形之地球畫於平面之地圖上所發生之變態，其紙皺之試驗爲一方法，歪斜之測量，爲又一方法也。大約對於地形地圖則可以郵票之說比擬之，但在此小面積之地圖中，其所發生之變態甚微，猶之郵票雖平面，亦能緊貼於球上也，製造地球儀時實即利用此法。至世界地圖，多係印於三角形之布片者，此種布片浸溼之後，即能黏貼於一大小適當之球面上而不皺；他若較大小方塊紙及由橡皮球上截下之弧三角，則可以代表製造地圖集之用，然製地球儀者，斷不能將一大小適當之亞細亞全圖使黏貼於圓球而不皺也。此種變態之發生，即表明此項地圖之縮尺並不能全體一致，故在一亞細亞全圖上，比例尺度即失其效用，是以所謂天然之比例尺度在此種情形之下，乃指一種縮尺，若不經變態，則地圖上之尺度與地球儀上之尺度，彼此並無差異。然製

造地圖，勢不能不有變態；則其補救之法，莫善於使其變態成爲一有規則之變態，並採用數種繪圖之方法，使此項變態之程度，得使人明瞭之。但求其變態之程度，能愈小愈妙，亦非最善良之辦法，蓋須參照圖之用法而酌定之。因地圖之應用，各有不同，譬如一慣乘自由車者，莫不欲在其地圖上，得能知悉自此處至彼處之遠近，但一研究美國地理者，則又欲於其地圖上得能將美國產麥之區與產棉花之區而比較之，故其所用之地圖，必須能代表其面積毫無錯誤而後可。然欲得一地圖能代表各種距離，皆完全無誤，乃爲一不可能之事，否則所製之地圖，亦可無變態之弊矣，但亦並非謂圖上各處之面積斷不能正確表明之也。依照所需地圖之目的，而擇定製圖之方法，此在小尺度之地圖，其變態最顯者，尤爲不可不注意也。製圖之方法，其種類甚多，此種方法，即謂之地圖投影法，但此投影二字之名稱，實不甚妥，吾人於應用之時，不可以此名稱爲含有幾何學中所稱投射之意義焉。每一地方，吾人均見其有經線及緯線，若吾人能表明此經緯線所以畫入地圖之方法，卽不難製造地圖，因此種經緯線一經繪成之後，卽可按其經緯度將各點插入圖中，故對於繪畫地圖之問題，吾人必須一論此種經緯線之圓圈，其地圖上已經畫有經緯線而此外別無他物者，是謂小方格之圖樣，或謂地圖之網線；不特此也，吾人對於尋常繪畫實用地圖之計畫，亦須一一研究之。

地圖之縮尺 (scale of maps)

吾人於比較地圖上與地面上之長度時，卽可尋得若干事物與三十四圖所表示者彷彿相同，圖中 AB 一線，

其分爲四個相等之部分， ab 一線爲在地圖上代表 $\triangle B$ 線者，學者於此應畫一三格之表，將 $\triangle B$ 線以寸數或十分之一寸所量得之長度列入於第一格中，將 ab 之長度列入於第二格中，其第三格中則列入 ab 比於 $\triangle B$ 之長度或 ab 之天然比例尺度，因比較上之便利而用分數表示之，然後於表之第二行將 $\triangle B$ 及 ab 之記載亦照樣列入，再依次及於 $\triangle C$ $\triangle D$ 等線，將其記載逐一列入於該表之中，即可查得其比例尺度在沿 ab 線中均各不相同，故以 ab 一線爲按比例尺度以代表 $\triangle B$ 線者，並非準確之論也。蓋其比例尺度，由此點至彼點，點點均不相同，吾人若欲查得 ab 線上任何一點之比例尺度，則須在該點之左右先量得一極短之距離，而假定此項短距離，與彼 $\triangle B$ 線上同等之距離相較，其比例之尺度，乃一定而不變者，若吾人察得其距離愈短，則其比例尺度亦愈可達到有定之數，吾人即可以此數目爲該點真正之比例尺度也。譬如從一相同之點，選取數距離，使每一距離，適爲前一距離之半，而得下列之比例尺度，即 $\cdot 1110$ ， $\cdot 1135$ ， $\cdot 1145$ ， $\cdot 1147$ ， $\cdot 1148$ ， $\cdot 1149$ 等數，此等分數，顯然表現漸漸趨近於 $\cdot 1150$ 之數，且亦無超過 $\cdot 1150$ 之趨向，是以吾人即可假定在該點之比例尺度，即爲 $\cdot 1150$ 矣。當吾人說及某點在某方向之縮尺，其所稱之縮尺，即含有此種意味也。今試於地圖之上，選擇一點，吾人恆可察得由該點沿一方向之縮尺，大都不能與由該點沿別一方向之縮尺相同，但其相交成正角之兩方向之縮尺，若係相同者，則其在各方向之縮尺，必皆相同，是以在三十五圖中之 $abcd$ 長方形，即由 $ABCD$ 之長方形

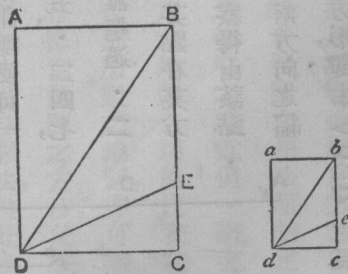


第三十四圖

中所繪得者，並在此長方形中，其沿 ab 及 ad 之縮尺彼此均屬相同，俟將此種縮尺，按上述之法而測定及證實之。然後試量其沿 $abde$ 及沿其他各方向之尺度，即可察得其沿各處之縮尺，皆係相同，並察得在 $abed$ 長方形中之角度，與在 $ABCD$ 長方形中之角度亦皆相同，故在一地圖中，若其相交成正角之兩方向之縮尺在各點，均係相同，則在該點附近小面積之形狀，即係正確者，而該點各方之角度，亦皆正確矣。

地圖上之形狀 (shape in maps)

地球上所有之經緯線，皆彼此相交而成正角者，故地圖上之經緯線若能如此，則殊有價值也。因經緯線若不能相交成爲正角，則地面形式即不能畫得正確，是以地圖上之經緯線，若係相交成爲正角，而其在地圖上沿經緯線各點之尺度亦皆相同，則此項地圖即稱爲似形者，或正形者，即能表示小面積之地形無錯誤之意也。但此名稱之意義，頗易釀成重大之誤會，因在地圖上之某一點，其沿經緯線之縮尺度，或能彼此相同，但其在各點之縮尺，即不能使之皆同，否則此項地圖即可爲地面一部分之完全代表矣，然此乃爲一不可能之事。凡屬正形之地圖，祇能代表最小地形之形狀，使無錯誤，因其地形既如此之小，則其縮尺雖有變動，亦不能使人察覺也。此等小地形在地圖之某一點或能得有正確之形狀，若在彼此相距較遠之兩點，則其比例尺度或至大相懸殊，竟有同一面積，可以



第三十五圖

畫至比別一面積大自一倍至三倍者，譬如以麥卡托 (Mercator) 投射法所繪之地球全圖，乃爲吾人所習見，各全球圖用此法所繪者多用紅色以表顯英國，是卽爲屬正形之地圖，凡各種小地形之正確形狀，均得於其中一一表出之，又在坎拿大以北之小海灣，可繪之使與類似墨西哥 (Mexico) 海灣中之小海灣相同，而其形狀且甚正確焉；但一觀地圖上緯線每十度之長短，則在北緯七十度與在北緯三十度之大小，乃屬相同，其實在此圖中緯線每十度之長全世界各處之大小，亦皆相同，惟吾人所見本書第十三頁第二表上每緯線十度之長短，其在三十度之處，較在七十度之處，實有兩倍半之長，故坎拿大以北之海灣，比較墨西哥海灣所畫之縮尺，實有二倍半之大，蓋麥卡托之地圖，對於英國之疆土務欲擴之使大，如在高緯度之英國屬地如坎拿大者，亦放至碩大無朋，可知所畫之圖，雖對於小地形甚爲正確，而對於大地面之形狀卽不然矣。

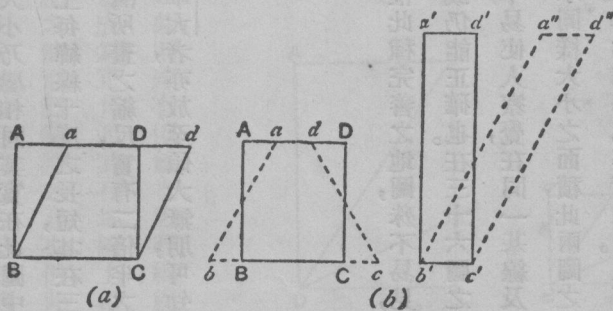
面積 (areas)

如沿地圖上相交成直角之經緯線之縮尺係正確者，則其面積，亦必正確，惟此種完善之地圖，殊不易見，然卽使經緯線並不相交成直角，沿經緯線之縮尺並不正確，但其在地圖上之面積，或仍能正確也。在三十六圖之 a 圖內，吾人見有一長方形其所界之經緯線，彼此若此之近，故其經線之會合性，遂不易使人察覺，在同一基線及相同之緯線中，又有一平行四邊形，卽爲彼經緯線並不相交成直角之地圖上所表示同樣大小之面積，此兩圖之面積，乃屬相同。若地圖上每一小面積，係正確者，則其大面積亦必正確，而此種地圖卽稱爲相等或等積之圖。觀下列蓬

尼 (Bonne) 繪圖法中，其緯線之距離皆甚正確，其沿緯線之比例尺度，亦屬各點皆同，惟其經緯線則不相交為正角耳。蓬尼氏之繪圖法，乃依據三十六圖 a 圖之主旨以求得相等之面積者，其他求得相等面積之方法，則皆表明於三十六圖之 b 圖中。茲以 ABCD 為代表地球上之面積，以 abcd 代表地圖上之同一面積，則此兩圖即係等積者；學者於此，則可用量尺計算以證明之，並須測得其沿經緯線之縮尺及其經緯線縮尺間之關係焉。至 a'b'c'd' 及 a''b''c''d'' 兩圖亦為相等之面積，若其經緯線並不相交成為正角，則 a'b'c'd' 長方形中其沿經緯線之比例尺度之關係，若與在 a''b''c''d'' 長方形中沿緯線及與緯線成正角之線之比例尺度之關係，彼此相同，則二者亦具有等積之特性也。

能開展及不能開展之平面 (developable and undevelopable surface)

一平滑之紙，可以將其捲於一弧面之圓筒上，該圓筒倘為管形，則亦可縱劈其管，使開展成為一平滑之薄片。凡在一圓筒上，可以畫得與筒軸平行之直線，除此之外，在任何方向不能畫得直線也。凡一種弧平面，若能展開而為平滑之薄片，一如彼圓筒，則此項弧面即稱為能開展之弧面，蓋展開者，即開展之謂也。在一能開展之表面，其能



第三十六圖

畫之直線，祇有一種方向，而此方向與彼表面開展時之方向適相交成爲正角，但球面並非一能開展之弧面。其第二種能開展之弧面，乃爲圓錐體之面，試觀店夥能用方紙捲成尖圓形之袋，卽其明證。茲爲研究圓錐體之特性起見，學者宜照三十七圖之 a 圖，先畫一圖，然後按圖上所列之尺寸，再將其剪去，其所定之尺寸，可使此圓錐體能附貼於一十二寸之地球儀上，倘學者所用之地球儀大小與此不同，則圓錐體之尺寸，亦須照該球之大小而增減之；如地球儀一時無處可得，則可用一三四寸之橡皮球以代之，但圓錐體尺寸於須用三或四之數以除之。茲用紙捲成一圓錐形，使與三十七圖 b 圖所示者完全相同，並將其切開之兩邊連合於一處，然後以有膠質之小紙片，依照圖式而聯絡之，則所捲成之圓錐體乃爲一正圓錐體，因其圈底係一正圓，（學者宜將圓錐體罩於一半徑五寸之圓圈上以證明之。）而其軸線卽由頂點至圈底正中之線。係與圈底之平面適相交成爲正角，其 a 圖中之弧於圓錐體上，均已成爲圓圈；此時可用硬紙板剪成二圈，使其圈裏之半徑爲一寸四分之一，及三寸四分之三，於是則該圈卽能沿圓錐體之外緣而穩套於彼圓錐體上，設欲使該圓錐體格外堅固，則可用有膠之紙按 b 圖所示之位置而固定之，學者卽可得下列之結論，或以其構造法而試驗之。

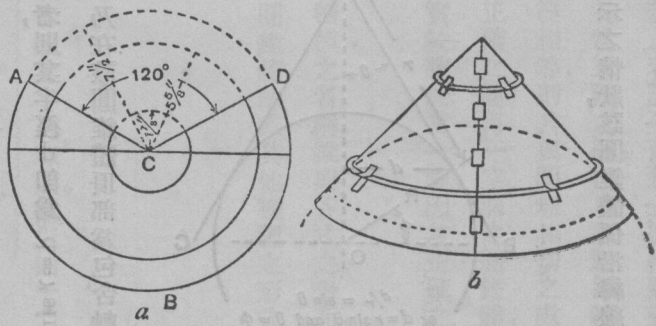


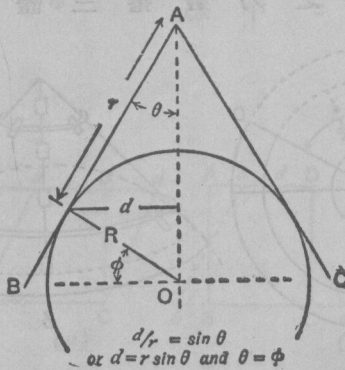
圖 三 十 七

(1) 凡一正圓錐體之平截面，而與圈底平行者，皆為圓形。
 (2) 此種圓錐體之平截面，若在圓錐體展開之時，即開展為圓圈之弧。
 (3) 凡一圓錐體任何部分之半徑 d ，若為一與圈底平行之平面所截成者，則其半徑 d 即為 $d = r \sin \theta$ ，此處 γ 為由圓錐體之頂點至該平面之距離，並係依圓錐體之斜邊而量得者。 θ 乃在該圓錐體頂部為包含軸線平面所切角度之半。(見三十八圖)

(4) 圓錐體某平截面之半徑為 d ，則其周線之長度即為 $2\pi d$ 或 $2\pi r \sin \theta$ ，圓錐體之平截面開展成為弧形之圓圈之半徑為 γ ，其周線之長度為 $2\pi \gamma$ ，其由 CD 依鐘針之行動而轉至 CA 之 $\angle ACD$ 角，(三十七圖 a 圖) 即為 $360^\circ \times (2\pi r \sin \theta \div 2\pi \gamma)$ 或 $360^\circ \times \sin \theta$ ，而此 $\sin \theta$ 即稱為圓錐體之常數，普通均以 N 代表之。(註一)

此圓錐體若置於地球儀上，則其與地球儀相切之處，適為一圓圈，如三十七圖 b 圖內所示之虛線然，此項圓錐體即稱為此圈之正切圓錐體。

如圓圈之軸線與圓錐體之軸線彼此適相符合，則吾人即可得如三十八圖所示之情狀，該圓錐體係沿緯線而與圓圈相切，其緯線之緯度 ϕ ，則正與 θ 角相等也。



第三十八圖

(註一) 此處 $\sin \theta$ 之數，顯為 $5/7 \frac{1}{2}$ 因 $\angle ACB = 1 \frac{1}{2}$ 寸，而圈底之半徑為五寸也，若以 $\frac{1}{2}$ 推演之，則其角度為二百四十度。

畫圖之重要方法，不外以三種表面以顯示之，即平面、圓筒之弧面，及圓錐體之弧面是也。其中第一種則本爲平直者，其他兩種則可開展而成平直者也。凡一平面可與地球儀相切於一點之上，若該平面爲一描繪圖畫之紙，即可將與地球儀相切處之地形描繪於紙上，其與該點貼近之處，亦可繪得一相當正確之圖，但與該點距離較遠之處，則其繪圖，即不能正確矣。又一空洞之圓筒，其內圈之直徑若與圓球之直徑相等，則其與圓球相切之處適成一大圓圈，而在此項所切大圓圈及其附近之處，即可按其地形繪得一詳細而正確之圖；再一空洞之圓錐體，亦可沿其所切之小圓圈而繪得一同樣正確之圈。由此觀之，則用後兩法所繪之圖，實較勝於第一圖，因其正確之範圍較廣也，惟繪圖之法，決不能如此描繪耳。

繪圖法可分三種：即圓筒法、圓錐體法及地平法或天頂法是也。（註一）此種種之名稱，雖與各式之表面，不無多少關係，但實際許多繪圖法，每有不依據所命名之表面而構成者，故雖命爲圓錐體法或其他種種之形式法，但已大加改良，而名實不甚相符矣。吾人於此，更可就上述各例而逐一討論之。

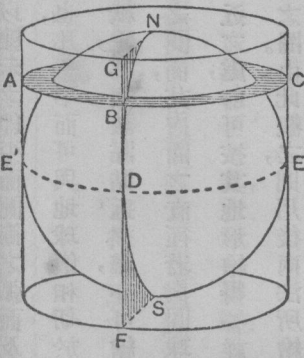
圓筒法 (cylindrical projection)

吾人對於所討論繪圖法之縮尺，應採用下列之方法，地圖之縮尺規定後，即假定一地球儀，係以四千二百萬

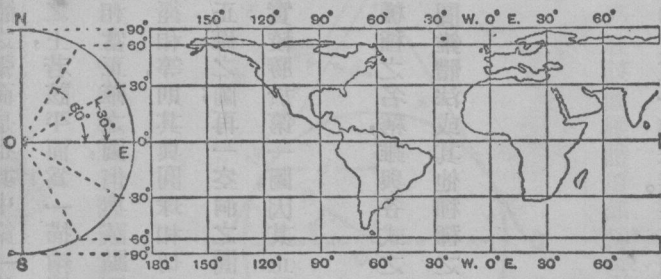
（註一）地平法，即用平面以表明者，其命名之意，乃因該圖所示由中心點至圖上各點之方向，頗爲正確也。至天頂之名稱，則無如此明顯之關係。但因前者之名稱，讀音頗難，故吾人反皆喜用天頂法之名稱。

分之一之縮尺所構成，其直徑約當十二寸或半徑為六寸，茲為求能適用於任何縮尺之數目起見，吾人可用R代表該地球儀之半徑，故 R/P 即為地圖上之比例尺度，而 R/P 之P則為地球之半徑，在此地球儀上，吾人若不計其因地球非真圓而發生少許之差誤，則此地球儀實為一極完備之地球模型。

假定一半徑R之地球儀為一空圓筒所籠罩，而該筒橫截面之半徑乃與地球儀之半徑相等，其高度倍於半徑者，則圓球之軸與圓筒之軸即可彼此相合，是以該圓筒即可沿赤道而與地球儀相交，並使該球之位置彷彿在一大圓柱形之箱中，其兩極則充滿該箱之頂底，如三十九圖之所示；此時經線之平面，則與圓筒相切而成一與軸線並行之直線，緯線之平面，則與圓筒相切而成一圓圈，橫斷該直線而成正角，如三十九圖中之EG及ABC線，即其例也。然後將該圓筒開展成一長方形，並使其代表經緯線之線，皆成直線，而彼此相交成爲正角，如四十圖中所示，其經線與赤道相切之處，赤道上



第三十九圖



第四十圖 用圓筒等積繪圖法所繪之世界地圖NES為一地球儀之經線截面對照四十一圖

之距離均合於縮尺。因該赤道在地球儀及圓筒上彼此均相合也。在圖上緯線之長短，則皆相等，故除赤道之外，其各緯線之縮尺，皆已放大矣。

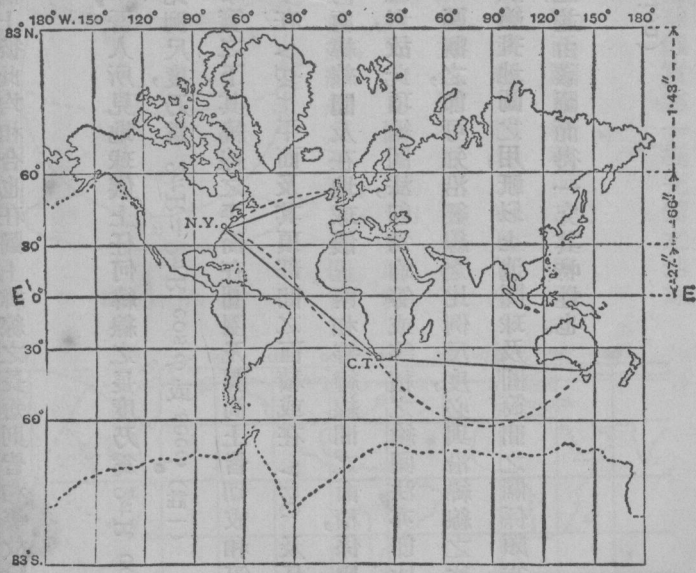
在此繪圖法中，每一緯線之長度爲 $2\pi R$ ，吾人所見地球儀上任何緯線之長度乃爲 $2\pi R \cos \phi$ ，此處 ϕ 卽爲緯線之緯度，故在此繪圖法中任何緯線之比例尺度，乃爲 $2\pi R : 2\pi R \cos \phi$ 或 $\sec \phi$ (註11)

由一著名之幾何學定理觀之，凡在此種事實之下，其緯線之平面在圓圈及圓筒上皆切成相等之帶，而圓球及圓筒之球面積則彼此皆爲 $4\pi R^2$ ；其兩圖中在 $\triangle ABC$ 平面及其頂部間之面積或在 $\triangle ABC$ 及任何緯線平面或赤道間之面積，亦皆相同，是以此圖中任何兩緯線間及在地球儀上兩相等緯線間之面積，係屬彼此相等；且因其經線之分布既甚均勻，並將其面積均分之者，故此項繪圖法，卽爲均等或等積之繪圖法，亦卽所謂圓筒等積之繪圖法也。由第六十二頁上第三十六圖之 b 圖觀之，卽可知沿經線之比例尺度，必與沿緯線之比例尺度爲逆比例，換言之，卽 $\cos \phi$ ，但此種繪圖法，不適用於繪畫地圖之用，祇以上述圓球及圓筒間之關係頗爲重要，故連帶說及之耳，想學者當能依照第四十圖以構造之，並由該圖而得一究其特性也。

麥卡托繪圖法 (Mercator's projection)

(註1) 學者於此，必須明瞭一圓圈之周長係與半徑成爲比例，而兩圓圈周長之比率卽爲兩圓圈徑長之比率，現因半徑間之比率爲 $\sec \phi$ ，故一望而知其緯線之比例尺度，亦爲 $\sec \phi$ 也。學者苟能注意於此，卽可免反復解釋之勞矣。

圓筒繪圖法之為學者所常見於地圖集中者，乃為圓筒之屬正形法 (cylindrical orthomorphic)，或即謂之麥卡托繪圖法，在此項繪圖法中，其地圖網線之構造，不必根據於圓筒，實為比較上較為通行之法也。吾人可任擇一與此書一頁相稱之比例尺度，姑定其為五萬萬分之一，而地球赤道之長度，既為二四九〇〇里，故在此圖中即應為一二·一六吋，茲試畫一如此長度之'E'E線，(四十一圖)以代表地球之赤道，惟在此種小比例尺度中，吾人祇能每隔三十度而畫一經線，赤道一度之長度，既為六九·一七哩，(見十五頁第二表)則在吾人所定之比例尺度中，其三十度之長度即為·二六吋。吾人又可試將'E'E線分為十二等分，而使每一分之長度，適為·二六吋，然後按照所分之點，畫若干與'E'E線相交成爲直角之線以代表經線焉；在圓筒等積之繪圖法中，其沿緯線之比例尺度當爲



第四十一圖

麥卡托繪圖法所繪之世界地圖比例尺1: 500,000,000 左方為地圖上緯線離赤道之距離斷續之彎線為大圓圈直線為羅盤線

之麥卡托繪圖法，在此項繪圖法中，其地圖網線之構造，不必根據於圓筒，實為比較上較為通行之法也。吾人可任擇一與此書一頁相稱之比例尺度，姑定其為五萬萬分之一，而地球赤道之長度，既為二四九〇〇里，故在此圖中即應為一二·一六吋，茲試畫一如此長度之'E'E線，(四十一圖)以代表地球之赤道，惟在此種小比例尺度中，吾人祇能每隔三十度而畫一經線，赤道一度之長度，既為六九·一七哩，(見十五頁第二表)則在吾人所定之比例尺度中，其三十度之長度即為·二六吋。吾人又可試將'E'E線分為十二等分，而使每一分之長度，適為·二六吋，然後按照所分之點，畫若干與'E'E線相交成爲直角之線以代表經線焉；在圓筒等積之繪圖法中，其沿緯線之比例尺度當爲

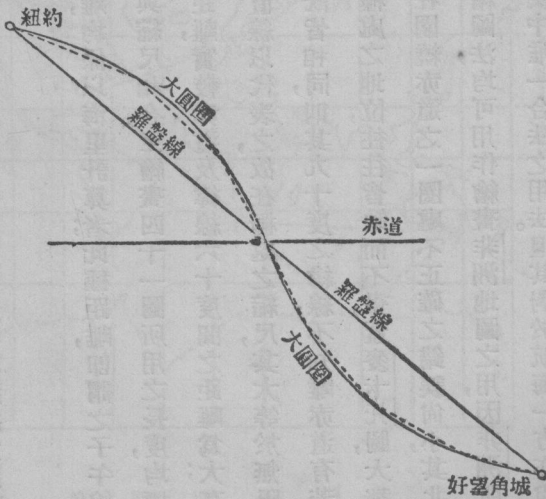
現麥卡托繪圖法既爲屬正形，則其沿經線之比例尺度亦必相同；若緯度愈大，則其經度之比例尺度必更須放大，而緯線愈近兩極處，其所畫兩緯線間之距離亦必愈畫愈遠也。

沿經線之比例尺度，吾人雖已知之；但欲藉吾人普通應用之數學以求得離赤道處各種緯線之距離，則亦爲不可能之事，且亦無簡單幾何學之釋義可以表明之。(註一)

在航海表或數學表中，其圖上所有離赤道之緯線距離，均係以海里計算者；此種距離，即謂之子午線之分數，圖中之緯線，即可依照該表以繪畫之，並將其距離縮減使與縮尺相合，至繪畫四十一圖所用之長度，均標明於圖之右端，學者須注意該圖中緯線六十度及八十三度間之距離，實較赤道及緯線六十度間之距離爲大；在兩種圓筒繪圖法中，其量等於無之兩極，皆係用一與赤道等長之直線以代表之，故在極處之縮尺，其大等於無限。在麥卡托繪圖法因在極處之經線比例尺度，與在緯線之比例尺度，既皆相同，則其九十度之緯線，不知離赤道有若干距離，實無法可以表示之矣。是以在麥卡托之世界地圖中，其兩極處之地位，往往皆缺而不畫，蓋麥卡托圖，大都祇畫至北八十三度及南七十五度爲止，此兩種圓筒法之地圖，祇在圍繞赤道之一圈處不正確之錯誤尙小，其北緯三十度與南緯三十度之間，並無多大差異之處，故此兩種圓筒繪圖法，均可用作繪畫非洲地圖之用，因非洲所佔赤道南北之地位，彼此幾乎相同，此實爲麥卡托繪圖法在地圖集中唯一合法之用法。但其對於航海一方亦尙有更爲

(註一) 學者若學過微積分者，當知離赤道處之緯度 ϕ 之距離爲 y ，則其在經線之比例尺度乃爲 $dy/Rd\phi = \sec \phi$ 故 y 即 $= \int Rd\phi \sec \phi = \int Rd\phi / \cos \phi = R \operatorname{Log} \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) = 2.3026 R \operatorname{Log} \cot (45^\circ - \frac{1}{2}\phi)$ (但須將天然對數化爲普通之對數)

重要之用處；試於地圖上選一由紐約連至好望角城 (Cape Town) 之直線，(四十一圖) 此線經過地圖上各經線時，皆相交成一同樣之角度；且此圖既屬正形，而各經線與緯線彼此皆相交成爲正角，故地球上每一小角度皆能表示於圖中而毫無錯誤。(見第六十頁上第三十五圖) 又此地圖上之直線即爲代表地球上之直線，而其經過各經線時，恆相交成爲一不變之角度，故在各線之行程中，所有各點，均有同樣之方向，此項直線，即爲之羅盤線，或爲斜航線；在近世輔助航行之新法尙未發明以前，此項羅盤線實於一般航海家在海洋中依照一定之方向以行駛其船隻，並欲不變其方向繼續駛至達到大陸爲止者，誠有極大之便利，故羅盤線之航行法，實爲昔時航海家之金科玉律也。至繪畫羅盤線於地圖上，其事頗爲簡易，即於該地圖上，欲求得該線之方向，亦不難用分度規以量得之。迨近世之航海家，對於航行此港至彼港之間，多能遵循一種最捷之途徑，以節省光陰焉，換言之，即彼等所航之行程，乃係改循大圓圈而行者，惟在麥卡托地圖中，此項大圓，頗難繪畫，因其繪畫之時，均須用曲線以代表之，如四十一圖中所畫之虛線然，凡水手航行



第四十二圖

大圓圈與羅盤線在麥卡托繪圖法中由紐約至好望角城真正之路線船行之路線.....

大圓圈之途程（以能航行者爲限）均須依駕駛書中之指示而行之，通常洋海中之航線，皆爲吾人所共知，並因每一短距離間之羅盤線畫成後，每一線行駛之路程，及其方向皆已標明，故一切船隻亦能依照在麥卡托地圖上，各大圓圈之絃線，如四十二圖中所示者而行駛之，但此種絃線之直徑，仍爲沿羅盤線者，使海員得用分度規及直界尺，將其線畫入於圖中，因此航海之圖，迄今仍用麥卡托之繪圖法以繪之，學者對於此問題，尙可於第九章中一觀其究竟也。

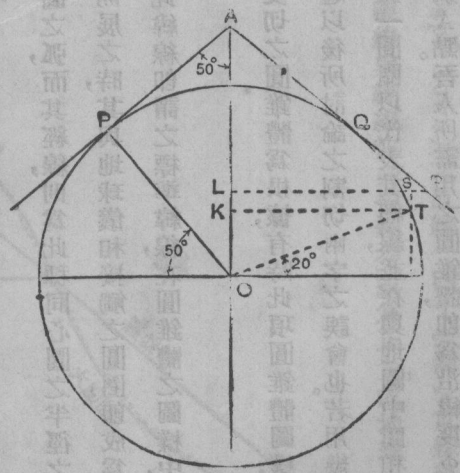
圓錐體之繪圖法 (conical projections)

凡在模範圓錐體之繪圖法中，所有緯線，係爲同心圓之弧，而其經線，則爲此種同心圓之半徑之部分，吾人可見一圓錐體沿一緯線而與地球儀相切，但在該圓錐體開展之時，其與地球儀相接觸之圓圈，即成爲一半徑較大之圓圈之弧，而該弧之長度，則適與所接觸之緯線相等，此緯線即謂之標準緯線，在圓錐體之圖樣中，或能含有一二長度正確之標準緯線，但欲過此數則不能矣。

凡祇含一標準緯線之簡單圓錐體之圖樣，須以其交切之圓錐體爲根據，有時此項圓錐體圖樣，即爲之交切圓錐體之圖樣，但此交切兩字，終以避去爲佳，因足以引起以後所討論之割切兩字之誤會也。若用幾何法以繪一含一標準緯線之簡單圓錐體之圖樣，則須依照縮尺先畫一圓圈以代表其經線，並在與地圖中間相等之緯度處畫一線 AP ，使與經線相切（四十二圖）而與地軸相交於 A 點。吾人所需用之圓錐體，即爲沿緯度 ϕ 之緯線而與

圓球相切者；且以吾人欲使沿緯線之處非常準確之故，須將該緯線畫於地圖之中心處為佳，在展開之圓錐體上，其緯線之半徑顯為 AP ，因吾人早知 PAO 為 ϕ ， OP 為 R ，及 AP 等於 $R \cot \phi$ ，故欲畫一標準緯線，實無繪畫四十三圖之必要；但有時一種描寫之法，較之計算之法或反更為明晰也。茲以半徑 AP 先畫一圓圈，再沿此圓圈而依標準緯線上之縮尺畫成多數等於經度十五度之距離，而假定此圖為隔十五度畫一經線者，並將其分線之點，連至圓圈之中心，並為繪畫其餘之緯線起見，吾人必須按照縮尺沿一經線而分畫若干等於緯度十五度之距離，並過各分點畫成多數與標準緯線同心之圓圈。

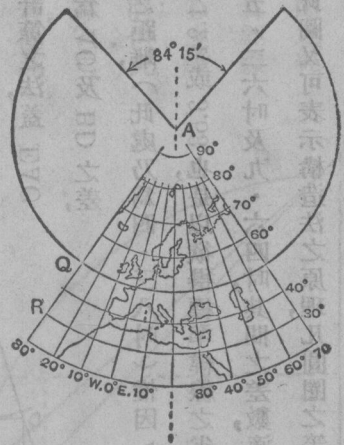
在此繪圖法中，其沿標準緯線及各經線之縮尺，均甚準確，但沿其他之緯線即不然矣。試擇一北緯二十度之緯線以證明之，該緯線在地球上之半徑為 KJ ，（見四十三圖）在圓錐體上則為 LE ，較之 KJ 須多 OR 之一段距離，若專繪一圖以證明此問題，則學者便知除標準緯線以外，無論任何緯線，皆屬過長，是以其縮尺之沿標準緯線兩旁之緯線者，亦嫌過大，其面積亦覺過鉅，而其圖樣亦非屬正形矣。在四十四圖中其代表北極者，係為圓圈



第四十三圖 圓球之經線截面及錐圖體交切在北五十度之圖比例尺 1:250,000,000 註字與四十四圖相等

之弧，學者當能知之，蓋在此圖中其北極之縮尺，雖不著在圓筒繪圖法中，放大之甚，但該地圖若包含南極在內則南極必較赤道大甚。緯線之縮尺，其離標準緯線遠者，亦必大增。蓋此種繪圖法，殊不適用於繪畫世界地圖之用，但用之於地圖集以代表有一定限面積則甚相宜，倘該地圖之面積，不在近極北或極南者則尤為相宜。惟此種繪圖法，其應用之處，終甚少耳。

簡單圓錐體之圖樣中，可畫長度準確之標準緯線二，但此種圖樣，並非由交切圓錐體中所化出，亦非由割切圓錐體中所化出者，若欲繪畫此項圖樣中之地圖網線，吾人須選擇其標準緯線，使與所畫地圖之面積能彼此相稱，大概此項標準緯線至外圈緯線之距離，須為該圖全體緯度之七分之一。及標準緯線選定之後，然後依照比例尺度，以計算在中央經線兩邊之緯線各部分之長度焉。吾人倘欲繪一西歐之地圖，依二千五百萬分之一之比例尺度，由西經十度伸至東經三十度。並由北緯三十五度伸至北緯七十度，則其標準緯線將為北緯四十度及六十五度，而該圖即將以東經十度之經線為之中央經線而兩邊伸長經度二十度。再由第十三頁第二表中取標準緯線一度之長度以為該圖中每一緯度之長度，而以二十乘之，然後將其減小使合於縮尺，即可見標準緯線在中央

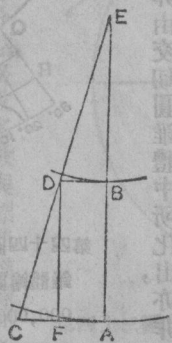


第四十四圖 含一標準緯線之簡單圓錐體繪圖法所繪之歐洲圖縮尺 1:250,000,000 標準緯線之半徑 (北緯 50°) 0.84'' 在標準緯線之經線分離距離 0.1 1'' 緯線之分離距離 0.17'' - 0.175''

經度之兩旁，長出一·四九及二·七三吋。此種平行線間之距離，須合乎比例尺度，而此距離在地圖上之大小，應為四·八三吋，此則學者所宜證明者也。試畫一線以代表中央之經線，並在該線上畫 ΔB 線，長四·三八吋，（見四十五圖此圖並不依照比例尺度而畫，蓋欲學者自繪其圖也。）經過 A 及 B 處畫二·七三吋長之 ΔC 及一·四九吋長之 BD ，使與 ΔB 線相交而成直角，然後將 C, D 兩點聯成一線引伸之，使與 ΔB 線所引伸之 E 點相遇，此 E 點即為代表各緯線之圓圈之中心點，而其各經線即由 E 點所畫之各直線與在含一標準緯線之圖中所畫者相同，其 EO 一線，即為西經十度之經線。再以 E 點為中心點，以 EA 及 EB 為半徑而畫兩圓圈以代表標準緯線，並將地圖之網線彷彿前畫之圖而完成之，然後可藉經緯線相交之點，依照地圖集中之歐洲地圖而畫一草圖焉。

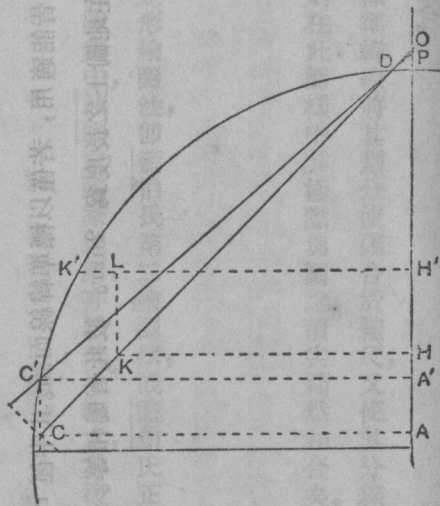
第四十五圖，係表明標準緯線之半徑，可以如何計算之法，蓋 EAC 、 EBD 及 DFC 三種三角形，彼此乃係相似者， FC 為 ΔC 及 BD 之差，

（在此處乃為一·二四吋）， DF 為二標準緯線間之距離，（此處乃為四·三八吋）惟因 AE 與 CA 及 BE 與 DB 之比例，既與 FD 與 FC 之比例相同，即 $4.38 \div 1.24$ 或 3.53 也，是以欲得標準緯線之半徑，須以三·五三之數以乘一·四九及二·七三之數，故其半徑，乃為五·二六吋及九·六四吋，其間之差數，適為四·三八吋，學者若欲校對此數，則不妨將其所繪之圖，一測量之也。此圖又可表示構造法之原理，凡圓圈之等弧相比於半徑之長，在此項構造法中，其半徑係與 $BD, \Delta C$ 相比，而此 BD 及 ΔC 兩線，即為兩緯線二十度之長度。至該圖樣之



第四十五圖

特性，可於四十六圖中見之。蓋該圖將欲闡明之各點故意放大，俾得將其中之情節，一一表明之也。該圖中爲一圓圈之經線截面，其圖上之標準緯線，通過 D, C' 兩點，此 D, C' 卽爲經線之平面所切之割切圓錐體之截面，在此圖中其 C' 及 D 之緯線，係爲標準緯線與彼地球儀上之緯線，彼此大小相同；但此兩緯線間之距離，係等於 DC' 之弧，故較之割切圓錐體之 DC' 弦爲大，是以在割切圓錐體上之緯線，較之在地圖上者，彼此較爲相近，其繪圖之法，並不根據割切圓錐體也。該圖樣所根據者乃圓錐體上 DC' 之截面，圓球上之緯線， K 成爲圓錐體上之 K 點，其 OK 弧及 OK 線，則爲等長者，圓球上之半徑 OK 較未展開之圓錐體之半徑 HK 則長出 $K'L$ 之一段，是以在圖上標準緯線間之緯線，係屬過短，而其縮尺，亦減小矣。若將此圖表引伸之，則學者亦可證明在標準緯線以外之緯線之縮尺度，係屬過大，但各經線之比例尺度，則當然甚爲準確，是以該圖卽非屬正形亦非等積者，其面積之比例尺度，不論在何緯線上，皆與在該緯線上之經度比例尺度相等，此項圖樣，用處極大，以之代表地圖集中有定限之小面積地圖，或地形地圖，則殊爲相宜，在緯度二十度之內，其任何長度之最大錯誤，不過百分之一，但因圖中紙張之伸縮而發生之錯誤，亦與此數不相上下，至於經度之錯誤，則無論東西延長至如何限度，當然



第四十六圖

不能較此數更大也，此種繪圖之計畫，常用於地圖集中，譬如繪一歐洲之地圖，即須應用此法，至其在地圖上之名稱，則恆謂之割切圓錐狀。

此數種圓錐體繪圖法之任何一種，均可稍加更改，使成爲等積或屬正形之圖樣，其圖樣如此更改之後，仍可含有一二標準緯線，但其經線之尺度，則已不能準確，在等積圖樣中沿經線之縮尺須與沿緯線者成反比，而在正形圖中則兩種縮尺須相同，至等積圖樣之包含一標準緯線者，繪之頗爲容易，試記圓球極點及緯度 ϕ 之緯線間之面積，密爲 $2\pi R^2 (1 - \sin\phi)$ 若 ψ 爲緯度之餘角 $\sin\phi = \cos\psi$ 及 $1 - \sin\phi = 2 \sin^2\frac{1}{2}\psi$ 則其面積即爲 $4\pi R^2 \sin^2\frac{1}{2}\psi$ ，而該圖樣上相等部分之面積，乃爲 $n\pi r^2$ ，是以 $n r^2 = 4R^2 \sin^2\frac{1}{2}\psi$ ，其中 n 當然爲圓錐體之常數。此公式對於任何緯線之半徑，即標準緯線亦在其內，皆能適用，若僅以標準緯線而論。其半徑 r_0 緯度 ϕ_0 緯度餘角 ψ_0 在圓球上緯度之長爲 $2\pi R \cos\phi_0$ 在地圖上之長度爲 $2n\pi r_0$ 彼此皆屬相等。是以 $n r_0 = R \cos\phi_0 = R \sin\psi_0 = 2R \sin\frac{1}{2}\psi_0 \cos\frac{1}{2}\psi_0$ (1)

並由上例之公式中可得

$$n r_0^2 = 4R^2 \sin^2\frac{1}{2}\psi_0 \cos^2\frac{1}{2}\psi_0 \quad (2)$$

然後以公式(1)除公式(2)即得。

$$r_0 = 2R \sin\frac{1}{2}\psi_0 / \cos^2\frac{1}{2}\psi_0 = 2R \tan\frac{1}{2}\psi_0$$

將 r_0 之價值代入第一公式中，則 n 即 $= \cos^2\frac{1}{2}\psi_0$



又將 n 代入上列之總公式中，則 r 卽 $= 2R \sec \frac{1}{2} \psi \cdot \sin \frac{1}{2} \psi$ 。

此卽爲緯線之半徑，若繪畫地圖之網線，其法須先繪一標準緯線將其劃分使確合於縮尺，又使其分線之點，與其中心處相連，然後依照上列之公式而繪畫其他之緯線，則在此圖樣中其極點與圖之頂尖顯然相合矣。

藍伯氏之繪圖法 (Lambert's projection)

改正圓錐體畫圖法之最重要者，爲含有二標準緯線之正形繪圖法，卽藍伯氏第二繪圖法，或藍伯氏正形圓錐繪圖法，又簡稱爲藍伯氏繪圖法，此種繪圖法，有時常用於地圖集中，法國之國家地圖，亦以此法繪之，其後歐戰中之協約國，且以此法而繪歐洲之戰圖焉。

多圓錐形體之繪圖法 (polyconic projection)

在多圓錐形體之繪圖法中，每一緯線之畫法，與在含一標準緯線之簡單圓錐體繪圖法中繪畫標準緯線之法相同，畫一直線以代表中央之經線，並分之使確合於縮尺，然後由其所分之點，以繪畫各緯線，仍分之使確合於縮尺，其餘之經線，則穿過各緯線之分線點，畫一均勻之彎弧以代表之，諸緯線爲非同心圓之圓周，離中央經線愈遠，則各緯線相距亦愈遠。其結果則除中央經線而外之經線，則縮尺均放大矣。且其經緯線彼此並不相交而成直角，故此項地圖，並非等積亦非屬正形者，此項繪圖法係爲美國國家測量局所發明，美國國家測量局恆用之。至法

國及英國則多用以繪畫地形地圖焉。但此項繪圖法不能適用於繪畫地圖集之地圖。現文明各國所合作而製之世界萬國輿圖，實依照此項繪圖法而略加修改。尚有另一種之改良繪法，則為英國陸軍部所採用，在此項繪圖法中，各經線與緯線皆相交而成直角，其中祇一緯線須分之合於真正之縮尺，此即謂之長方多圓錐形體。

蓬尼氏繪圖法 (Bonne's projection)

蓬尼氏之繪圖法，雖非真正之圓錐體繪圖法，但其繪畫之法則，則皆彼此相同，學者不妨試自繪之。其中央經線及各緯線之繪法，則與在祇含一標準緯線之簡單圓錐體中之繪法相同，然後將每一緯線分之，使確合於所定之縮尺，至各經線則為連接分線點而經過兩極之均勻彎弧，此種圖樣，乃為等積之圖樣，第三十六圖 a 圖 ABCD，即表示地球上界以經緯線之一種最小面積，aBCD 則為在地圖上之同等面積也。在緯線之縮尺，既準確，而此項緯線之距離，又合乎比例尺度，故在同一底線及在同等緯線間之面積，彼此乃屬相等，而其各經緯線既不相交而成正角，則此圖樣亦非屬正形之圖樣，蓋除中央經線之外，其沿各經線之比例尺度，顯係過長也。此項繪圖法，曾用於繪畫從前法國之國家地圖，故有時又稱為法國陸軍部繪圖法，蘇格蘭 (Scotland) 及愛爾蘭之參謀部測量局之地圖，亦多用此法者，其所用之比例尺度，則為 $\frac{1}{63360}$ 或更較此數為小焉。他如歐西各國之國家地圖，亦均採用此法。此法在地圖集中，最為通行，惟用於地形地圖中則有一大不便之處，即其經線係為弧形，故其方向頗難測度，又在大面積之地圖集中，此法亦不適用，因其經緯線間之斜度，在此大面積之邊際，非常尖銳，學者應以赤道為標

準緯線而自繪一蓬尼氏圖樣在此種圖樣中，其各緯線當然皆成直線，（即半徑無定限之圓圈）是謂薩生弗來姆司帝（Sanson-Flamstead）圖樣，此種圖樣，又顯然爲等積，且對於繪畫地圖集中一種面積在赤道兩旁有同樣距離，如非洲（Africa）之地圖者，亦頗爲適用；有時並用之於繪畫澳大利亞（Australia）、亞洲、大洋洲（Oceania）及南美洲（South America）之地圖焉。惟此法用之於非洲之地圖中，固屬適用，而用之於南美洲，則因其伸於赤道以北之面積，尙虞不足，而大洋洲則所占經度過多，足使經緯線間之邊角成爲過於尖銳，故猶有阻礙不合之處也。

異體同形之繪圖法 (homolographic projection)

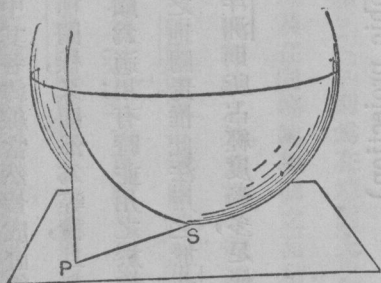
茲有一種與上述同類而極有用之繪圖法，謂之摩爾威（Mollweid）之異體同形之繪圖法，此法雖非圓錐體繪圖法，但在此處敘述最爲適當。此種繪圖法最普通之畫法，係按照縮尺，先畫一圓圈，使其直徑，可以代表半圓形之經線，（見附錄第三張第十二例題及其圖畫）至該圓圈之橫直徑，即爲赤道，並由其兩端各伸出等於該圓半徑之長度，其豎直徑，則代表其中央之經線，兩端則代表兩極，然後將該赤道分之，使確合乎縮尺，意即將其分作等分而使其數與地圖上所畫之經線相等，並使其經線成爲橢圓形而通過分線之點及其兩極之謂也。吾人可證明在此種橢圓形中間所成之瓣，其面積乃係相等。圖中緯線皆爲與赤道平行之直線，且其相隔之距離，又能使其等積之特性。若以此圖樣與彼薩生弗來姆司帝圖樣相較，則此圖近兩極處之經線，不至如彼圖之擁擠，但經線長度

之放大及經緯相交之斜度，在圖之邊際者，則須較彼圖為更甚。照例摩爾威之繪圖法，實較薩生繪圖法為佳，但用之於世界地圖如氣候圖表及分佈地圖中，祇注重等積而不注重形狀者，則兩種繪圖法皆甚有用也。

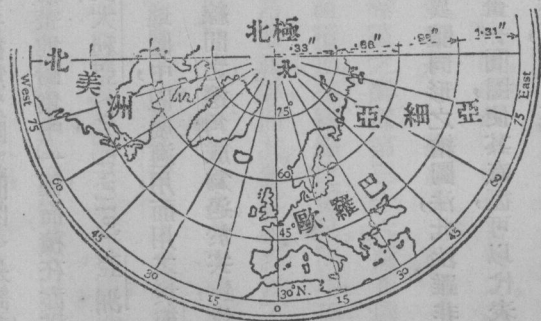
天頂式之繪圖法 (zenithal projection)

假定一平面與一圓球相切於兩極之一端，則其形狀可於四十七圖中一圓球安置於桌上時以表出之，在此圖中圓球經線之平面，將成一直線，如圖中之 *OP*。然此種直線即為在天頂式繪圖法中代表經線者，若用天頂式之繪圖法以畫近北極處之地圖，則吾人須循地圖上代表北極之點畫出各種直線，此種直線即為經線，在四十八圖中所繪之經線，係每隔經度十五度而畫一線者，其圖上之各點，顯然皆在北極之南，此北極即為該圖之中心，吾人或能憶及凡天頂式之圖樣，其所示由地圖中心發出之方向，係屬無誤者也。

各緯線皆為以北極為中心之圓圈，在



第四十七圖

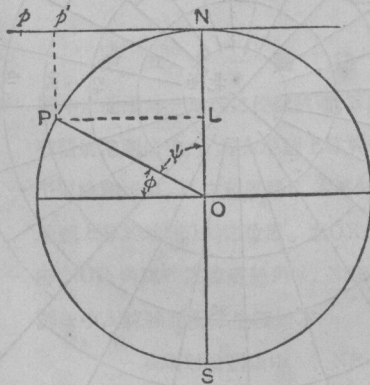


第四十八圖 天頂式等距繪圖法所繪北半球一部分之地圖

天頂式等距之圖樣中，在緯度 ϕ 之緯線 P 之半徑，（四十九圖）乃為緯線 P 之緯度餘角 ψ 或即 \widehat{NP} 弧之長度；故在此圖樣中其沿經線之尺度頗為準確，又在直射影圖樣中各緯線之半徑均係正確，故緯線之長度亦正確，是以四十九圖若係代表地球儀上一經線之截面，及其切平面者，則在此直射影圖樣中其穿過 P 點之緯線半徑為 LP ，或為 $R\cos\phi$ ， ϕ 之長度 \widehat{NP} ，此則顯然較弧形之距離 \widehat{NP} 為短；而此 \widehat{NP} 即為等距圖樣中同一緯線之半徑，是以在等距圖樣中其沿緯線之比例尺度乃屬過大，其面積亦屬過鉅，而在直射影圖中其沿經線之比例尺度，則嫌過短，而所示之面積，亦且過小矣，故此兩種圖樣既非等積亦非屬正形也。

但吾人可選擇緯線之長短使成一等積或屬正形之地圖，茲為求得一等積之圖樣起見，吾人須記取在地球儀上某緯線及北極間之面積係 $(4\pi R^2 \sin^2 \frac{1}{2}\psi)$ ，而此面積之在地圖上及地球儀上者，必皆彼此相同。若在地圖上其緯線之半徑為 r ，則其所含之面積，即為 $2\pi r^2$ ，若將此二式調和之，則吾人即可得 $r = 2R \sin \frac{1}{2}\psi$ 之公

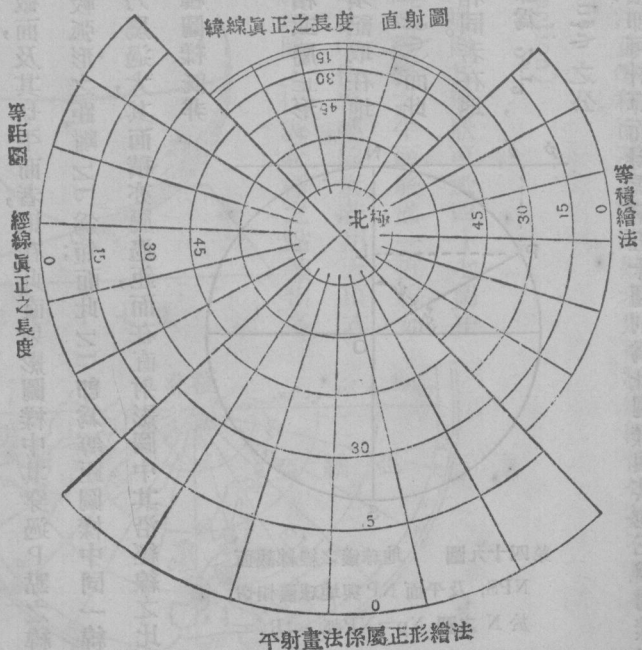
式，而由此公式中其所求緯線半徑 r 之代價，即可計算而得焉。第五十圖則為此圖樣與其他三種圖樣之比較，並可顯出該圖中緯線之半徑係較直射影圖樣中之半徑為長，故其沿緯線之尺度即屬過大，但其半徑較之於等距



第四十九圖 地球儀之經線截面 NPS，及平面 NP 與地球儀相切於 N 之圖 $Np = \widehat{NP}$ 弧 $= R\psi$ 在天頂式等距繪圖法中 P 之緯線之半徑。 $Np' = LP = R\cos\phi$ 在直射影繪圖法中 P 之緯線之半徑

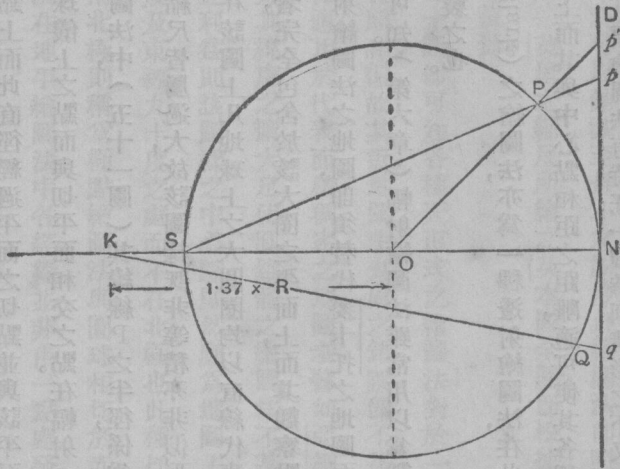
圖樣中者為短，故其沿經線之尺度又復過小矣。

天頂式屬正形之繪圖法，又謂之平射畫法，至求緯線半徑之法，則表明於五十一圖；圖中S為地圖中心點N之對方，若欲求緯線P之半徑，吾人可將SP連成一線，並引伸之使與代表該圖平面之NP相遇於P點，則NP一線即為所求之半徑也。由直角三角形NSP中觀之，則NP顯係等於 $2R \tan \frac{1}{2} \theta$ ，而各緯線之半徑，即可由此公式以計算之矣。NP既大於IP（見四十九圖）則其沿緯線之比例尺度，顯屬過大，而其圖樣，既為屬正形者，則其沿經線之比例尺度亦當然過長。（參觀五十圖）學者對於此節，若有相當之數理知識，自易證明該



第五十圖 用四種不同之天頂式繪圖法繪四個四分之一之北半球以為比較之用 縮尺 1:250,000,000 經緯線每間十五度為一格

圖爲屬正形，否則卽於此處將其證明之，亦屬無益，故吾人寧缺而不贅焉。



第五十一圖 透射繪圖法

圖中之圓圈爲一地球之經線截面，ND爲一繪地圖之平面截面，在輻射繪圖法中， p' 爲在地图上等於地球上P點之位置。在平射繪圖法中，P之位置爲P，在亨利詹姆士繪圖法中q爲在地图上等於地球上Q之位置。而 $OK=1.37 \times ON$ （若N爲北極NOP角爲P之緯度餘角 ψ ，NSP角爲餘角之半。在各繪圖法中，P緯線圓圈之半徑如下

在輻射繪圖法中 $NP=R \tan \psi$

在平射繪圖法中 $NP=2R \tan \psi$

多數天頂式之繪圖法，均根據於一種原理，即吾人曾用以測定平射畫法中之緯線半徑之法也。若置吾人之眼於（五十一圖）中之S處，其經過P點之視線，與切平面相交於P點，在此種透射畫法中吾人之眼，係假定在地球儀直徑之某點上而此直徑經過平面之切點，並與該平面相交而成直角，其地圖上任何一點之位置，即為吾人之視線經過地球儀上之點而與切平面相交之點。在輻射（或中央）繪圖法中，其觀察之點，即為地球儀之中心點。故在此種繪圖法中，（五十一圖）其緯線P之半徑，係為 r_p （ $r_p \parallel R \tan \psi$ ），學者於此圖樣中當能察得在經緯線兩方之縮尺皆屬過大，故該圖樣既非等積亦非似形者，且亦祇能代表較小於半球之地面而已。至其最重要之特性，乃為在該圖上凡地球上之大圓圈均以直線代表之，故繪於地圖上頗為便易；蓋因吾人視線之在同一大圓圈之各點者，完全包含於該大圈之平面上，而其觀察點則在大圓圈之中心故也。當大圓圈之航行法通行之後，人皆以為輻射繪圖法之地圖，即須替代麥卡托之地圖而興矣。故在美國即有此種輻射繪圖法之航海圖出焉，但吾人不久即可知。（第六章）輻射繪圖法雖常用以為製航海圖之初步工作，但各航海家之航海圖仍須用麥卡托繪圖法以製之也。

葛拉克（Clark）之繪圖法，亦為一種透射繪圖法，在此繪圖法中，其觀察點係落於與該圖樣之平面相交成爲直角之直徑上而其與中心點相距之距離，適可使各種差誤之程度，（即長短形狀及縮尺等之差誤程度）減至最小之限度。此項繪圖法有時在一種特別情形之下，又謂之詹姆士（James）之繪圖法，則專用於地圖集中，以表明地球儀上之陸半球者，否則此項繪圖法即不常用也。在此種特別情形之下，其觀察點係在赤道之直徑上，

其離中心點之距離則爲該圓球半徑乘一·三七之長（見五十一圖）又有一種天頂式而非透射繪圖法，所有其中繪畫之總錯誤，可以銷減至最小之限度；此繪圖法即謂之消滅錯誤之啞立（Airy）繪圖法，英國參謀部測量局以十寸等於一英里之縮尺所繪之英本國全圖，即根據此法而繪者。至此項繪圖法數理上之問題，則不在本書範圍之內，姑不贅焉。

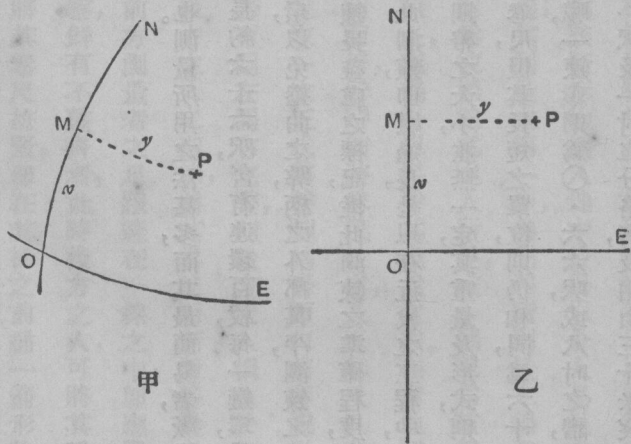
試一觀第五十圖，即可知各種天頂式之繪圖法；對於一半球之地圖，其近邊際之處，彼此相差甚遠，但在中央之部分，則彼等皆頗相似，故其近地圖中央處之錯誤，即不甚重要。而地圖之面積愈小，則其錯誤亦愈少也，是以天頂式之繪圖法，係適用於代表面積稠密之地圖者；譬如亞細亞洲係一稠密之面積，故繪畫此種地圖，即頗適用天頂式之繪圖法，蓋其緯度之擴大，足使圓錐體之繪圖法不甚適用也。但欲使此天頂式之繪圖法在繪畫一亞洲地圖中得收完全之利益，則該圖樣之中心點顯然應爲地圖上面積之中心點；換言之，即其切平面必須與地球儀相切於北緯四十度及東經九十度之處，而不在于北極也。此種切平面即謂之斜切面，有時或謂之地平面；大凡一平面與圓球相切於南北極，則稱爲極點繪圖法，與圓球相切於赤道處，則稱赤道繪圖法，若與圓球相切於其他各處，則稱爲地平繪圖法，在地平繪圖法中各經線，並非由一點處發出之直線，故此項圖樣頗爲難繪，但吾人可以假定一套大圓圈皆穿過平面與圓球相接觸之點，直至其對蹠點，此種大圓圈在此圖上，皆爲直線；於是吾人即可計算各經緯線經過各直線之點以繪畫其經緯線，迨地圖繪成後僅留此項經緯線可也。至於繪畫亞細亞洲全圖多數地圖集中，皆用天頂式之等積，或等距法；故學者當能證明其經緯線皆爲曲線，但無數地圖集中亦有用蓬尼氏之繪圖

法以繪畫該圖者，譬如在巴托羅繆 (Bartholomew) 高等地圖集中，其繪畫亞洲大陸之總地圖，係用天頂等積法者，繪畫亞細亞洲較小之地圖，則大概皆用蓬尼氏之繪圖法；此兩項地圖，皆爲等積之地圖，但一考查其近地圖邊際之部分，即知在天頂式之繪圖法中，其經緯兩線幾相交成爲直角而其經線之伸長，亦屬較少，是以在蓬尼氏繪圖法中形式之變態，亦較在天頂式之繪圖法中爲多也。

喀西尼之繪圖法 (Cassini's projection)

圖中此種繪圖法，乃爲吾人所欲引證之最後一法，乃爲一種通俗繪圖法；此法係爲法國數理學家喀西尼第三所發明，用以繪畫近世最早及最著名之法蘭西全圖者，此種繪圖法盛行於歐洲之大陸，即英國參謀部測量局所繪六吋等於一哩或較大縮尺之地圖，亦皆引用此法。大約除十哩等於一時之圖外，幾乎全英國之地圖皆用此法也。喀西尼曾將法國之面積作一度測量，其測量之法，係根據於一主要之經線及與該經線成垂直之數線，其緯線則與地面上各經線成爲直角，但僅在該緯線與經線相交之處，乃爲直角，其在他處即不然矣。喀西尼所用之直垂線，乃爲大圓圈。其繪圖之法，係先畫一直線以代表一主要之經線，然後畫數直線與此線成爲直角以代表各垂直線，在此地圖上其主要經線及一垂直線，即幾何學中所謂正角之軸線，第五十二圖，即所以表明其繪圖法之要旨者。甲圖代表地球儀，乙圖則代表地圖，但其在甲乙兩圖中之字則彼此相同。圖中之O，乃爲主要之經線，O'爲一大圓圈與OZ成爲垂直，並與該經線相交於地圖中心之O點。其P點乃爲欲繪之任何一點，PM則爲經過P點

之大圓圈，並與主要經線 ON 成爲直角焉。此圖係表示如何用直角座標之縱橫線， x, y 而將該 P 點繪於圖上之法者；此種繪圖法，有時即謂之直角座標之繪圖法。各經緯線相交成直角之縱橫線用以畫作地圖之網線者，皆可如此計算之；而其相交之各點，即可繪之於地圖之上，然後繪畫曲線使穿過各點以完成地圖之網線。此項圖上之經線，並非直線，但該地圖之幅員，若離主要之經線，並不甚遠，則其彎度亦不甚大，其圖上成曲線之緯線與經線亦不相交成爲正角，因此之故，其沿主要經線及與該線成正角之縮尺，雖甚正確者，但在他處即不正確矣，但一國之面積，若距離中央經線之兩旁祇有一百五十哩左右，則此種缺點，即不多矣。至該圖之要點及其用法，學者可參觀第五章所論之地圖釋義焉。



第五十二圖 喀而尼繪圖法

甲圖抵地球乙圖抵地圖， O 爲地圖之中心， ON 爲 O 之經線， PM 爲經過 P 點與 ON 成爲直角之大圓圈， OE 爲經過 O 點與 ON 成爲直角之大圓圈。

第四章 地圖製造法 I (The Making of Maps—II)

測鍊測量法 (chain surveying)

製造地圖之第二步驟，乃測量地面使之準而且速也。測量所用之法甚多，而其最簡易者，厥惟測鍊測量法；從前吾人所用之測鍊，多爲加脫 (Gunter's) 氏之測鍊，其長約六十六呎，含有連環百枚，每一鏈環爲一粗壯之鐵絲，其兩端各彎成一眼，在測鍊每一端，各有一柄，並配有轉環，以免捲曲之弊，柄之外部甚平，測鍊之長度，即爲兩端平邊間之距離，此種平邊，可以用作直界尺以畫界線而爲鍊長盡處之標記，惟此測鍊之準確程度，有一重大之缺點，因其每一銜接之處，均爲易於磨損之表面，用之日久，則此測鍊，即嫌過長，是以在近代之工程中，所有測鍊之鍊環，恆代以鋼帶或鋼製之卷尺，祇其柄與轉環仍沿其舊耳。鋼帶之大小，並無一定，其重量及形式，則大都與自鳴鐘彈簧上之鐵條相等。至測鍊之名稱，亦可用以包含鋼帶及卷尺，但其長短之單位，則仍相同，爲六十六呎，即二十二碼；乃因測量土地之便利起見，一平方測鍊，即爲十分之一畝，一鍊環則爲 $0 \cdot 66$ 呎，或八吋之譜，但在普通及科學之工程中，則恆用由一百呎至三百呎之鋼製卷尺，上有一呎及一吋之分格者，及用由三十米突至一百米突之卷尺。近頃以來，有用鋼絲以代卷尺者，因鋼絲之物，既較卷尺爲輕，亦較卷尺不易扭壞及折斷，故一般在殖民地及新

大陸之工人，多樂用之。

凡欲標記卷尺長度之終點於地面，吾人必須用一種箭形物以誌之，此種箭形物係以粗鋼絲成製者，長約尺許，一端爲尖形，其另一端，則彎成一圈，圈上復繫一布條，爲該箭形物插入地中後得以令人易見之用。

測量之工程，須以兩人爲之，每人各站於卷尺之一端；其測量之第一步，必先將所測量之線示明於地上，然後於線之每端，用木椿等類之物，各豎一標記，若此標記不能爲彼標記處之人所見，或一標記爲該線之任何一點，所不能見，則必須多豎數標記，並使各標記皆須豎於一直線上，庶幾得以保持其成爲直線。在實地測量時，兩人中之一人，須攜箭形物十枚及卷尺之一端，沿彼測量之線，向前而行，行時即將卷尺拉出，及至卷尺已盡，則彼立於線端之後者，即須呼曰（鏈盡矣！）於是其他一人，即行停住，並取一立正式將雙腳站齊而向前審視焉。至在後方之人之職務，第一須視其前方之人，是否依所測之線而直進，若有偏左偏右之弊，則後方之人須立於第一標記處，以其手向左或向右而使之移易其方向，彼前方之人，即須依後方之人之指示，攜其卷尺而漸漸移動之，每移一步，即將雙足站齊向前審察一回，後方之測量者，見前面標記與前方測量者之足跟適在一線之中，即應舉一手以示測成直線之法，業經畢事，大凡善於測量之人，對於測鏈之審察，鮮有不整齊者，此時後方之人，可將其手中鏈柄平扁之一端，覆於測線起點之標記處，其前方之人，則雙足不動，將其卷尺拉緊，即在其柄之前插一箭形物於地中，使略向前傾，而箭形物頂端之圈則與卷尺彼此成爲直角，如卷尺有彎曲之處，即須將手上下移動，使之成爲正直，然後仍將卷尺拉緊，一如前狀，並糾正箭形物之尖端，使接近於卷尺之盡處，但在糾正之時，不可觸動箭形之物，須用足踏

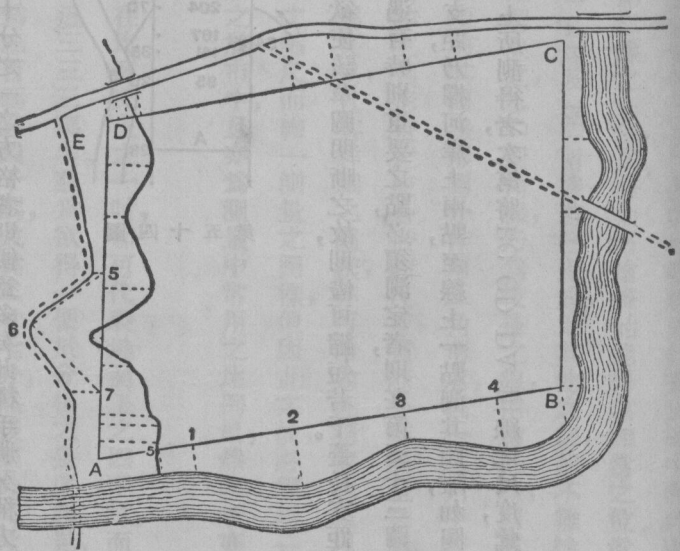
於箭形物之前面，使其得以更爲正直，若非測畢之後，則斷不可接觸該箭形物也。及糾正已畢，其前方之人，即須聲言「得之矣」，此時後方之人，若亦認爲已對，即可將鏈柄放下，若以爲仍未對者，則須口稱「重來」，於是此項工程，即須重新糾正之，若有必要之處，並須略加修改焉。此種手續完畢之後，其後方之人，即將卷尺放下，仍由前方之人，將該卷尺拉向前行，直至後方之人聲言「帶盡」而止。蓋此時卷尺之末端，已在彼箭形物之處矣，然後又照上述之手續，重演一次，直至該線測畢始爲竣事，其後方之人於經過箭形物之時，即須將其拔起，攜於手中，蓋其手中所有箭形物之數，即爲已量得之鏈長數，若與前方之人手中所留之數相併，則其總數應爲十枚，此實爲吾人所不可不深加注意者，因天下最易遺漏之事，無過於漏測一鏈之長也。若所測之線其長度有零奇之分數，則可扣至十分之一尺而計算之，所量之地，若逾十鏈之長，則所用之箭形物常爲十一枚，其二枚繫以紅布條，餘則繫以白布條，於是乃以繫白布條者九枚，繫紅布條者一枚，交於前方之人，惟彼前方之人，須將繫有紅布之一枚，留於最後用之，則當其手無箭形物之時，彼測量簿中，即已記有十鏈之數，此時後方之人，又可將所得繫白布者九枚及其手中所餘之繫紅布者一枚，交還於前方之人，而在地中之繫紅布者一枚，現乃成爲最先之一枚焉。

吾人現所知者，僅在平面上測量一線之法，如吾人欲測量如五十三圖所示之河岸，則又如何測法耶？試畫一 AB 直線，使與河岸愈近愈妙，其線之長，則以爲於應用爲主，其在 A 處與河岸之距離，須沿與 AB 成爲直角之線以量之。圖上標記 1 之對面爲河岸第一彎曲之處，假定此項彎曲適發生於一鏈長之中間，則於前箭形物插定後，即可按其位置，將測鏈置於地上，彼測量之人，即可向前而行，直至彼自身與河岸彎曲處兩點所成之線適與 AB

線成爲直角爲止，若此直垂之線甚短，則僅以吾人之眼光即可測定其是否成爲直角，如直垂線較長，則須用儀器以測定之，如光學之矩尺，或勘定直角器，或有彈簧之矩尺，皆可一量而得也。於是此項垂直之距離，乃可用一短卷尺以量之。尋常所用者，多爲一精良之麻布卷尺，至其量得之尺寸則稱爲一支距，並因其係依測量之方向由AB之右邊量起者，故稱爲右支距，至由1點至A點之距離，現可由卷尺以量得之，並可將其支距依下列所表明者一併記入焉。其2 3 ……等處之支距，亦可依樣畫成之，並將由A處至各點之距離及其支距，一併記於簿中。又圖中AB線係跨一小溪者，故由A處至該河之距離及其河之支距5，亦須測量之也。

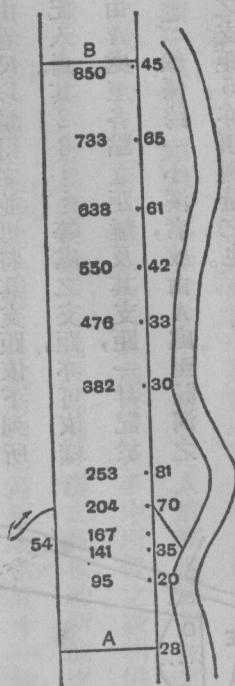
測量手冊 (field book)

凡觀測之所得，即須將其記入測量手冊中，此項所用之手冊，其格式須與五十四圖所規畫者相同，其中間之



第五十三圖

一格用以代表 ΔB 之線，凡沿該線所量得之距離，皆記入之。其在邊際之左右，則畫有所測地形之概略，如圖中所示者然，至其支距，則可位置於其適當之處，及其適當之一邊。其記載之法，係從頁底記起，而其記載之距離，亦須略照一定縮尺度為之，因此之故，凡所用之簿，若係畫成一寸十分之一之方格者，則便益多矣，此種手冊又稱方格簿。



第五十四圖

支距之距離，則以愈短愈妙，彼圖中所示之支距，若非欲使該草圖明晰之故，則儘可縮短若干。蓋長支距多即須多費工作，且容易錯誤也。若在不能不用長支距之時，或遇有特別重要之點，必須測定者，則在第五十三圖 DA 線中所測定第 6 點之法，可以採用之。其法並非僅測一個支距，乃擇河岸上兩點，至線上一點測其距離，如圖上所示，而線上所選之點，其支距本須測量者也。學者應按照圖上所測得者，次第將 BC CD DA 三線之尺度，彙記於測量簿中，並宜選一相當之面積在曠地實地測量之。

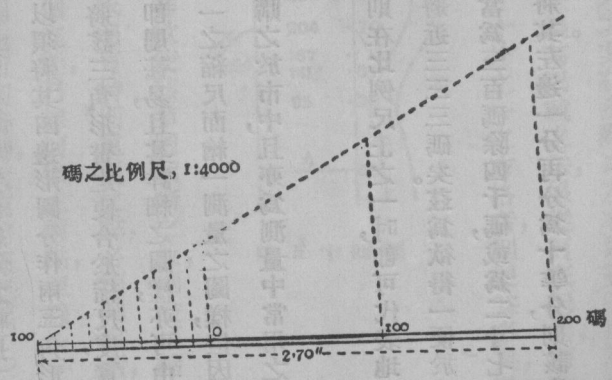
第二問題，即爲測量之繪畫，吾人第一步必須將所測之線如 $\triangle ABC$ 及其他等線，先行畫於圖中，而此處即有困難之點發生矣。蓋 AB 一線，若已畫於簿中，吾人對於第二線之 BC ，又將如何繪畫始能得其相當之位置乎？則對於此節顯然尙無充分之指示，可以爲吾人所適從者；但 AB 及 BC 兩線，若已畫成，則其他之線，即不難繪得，欲解決此種繪畫之難點，可測量四邊形圖中對角線之一以解決之， AC 對角線，乃爲較長之線，但繪此線，則可知所經過之小河及小徑之地位，並可免用長支距矣，吾人所以須將其四邊形圖分作兩三角形者，因一三角中若知其三邊線之長，即可完全斷定該三角之形狀，換言之，即可將該三角形畫之使合於縮尺度，實際各種測量之圖樣，均由三角形構成，若兩三角形畫成之後，則其支距之繪畫，即屬甚易，且其詳細之圖樣，亦可由如此測定之點以求得之矣。現可令學者將其測量簿中所記載者按照五千分之一之縮尺而繪一測量之圖樣，但因此之故，必須用一比例尺焉。大概黃楊木之比例尺，其上刻有分尺分寸者，皆可購之於市中，且亦爲測量中常用之比例尺，然學者亦可按照下列格式中所示之方法而自製一比例尺也。

(一) 以一比四千之表率分數而畫一論碼之比例尺，則在比例尺上之一吋，即可代表地面上之四千吋，而三吋乃比例尺中最便利之長度，即可代表一二〇〇〇吋，或將近三三三三碼矣。茲爲欲得一便於分析之長度起見，可假定該比例尺度爲代表三百碼者，於是試比例尺度之長，當爲三百碼除四千碼，或爲二寸七分，然後照此尺寸而畫一線，用尋常之法將其畫作三等分，由此三等分之中，又將其左邊一分再分爲十等分，則該比例尺度即可完成如五十五圖之所示者矣。

(1) 以一比一萬之縮尺度而畫一表示米突之比例尺。則十生的米突之長，(比三寸略長) 即可代表十萬生的米突，或一千米突矣。

吾人所測量之線，斷不能皆在平地之上，但地圖中所示者，皆為兩地間之平距離，並非真正沿地面之距離，是以若有一由 A 至 K 之斜坡，如六十一圖所畫者，則其在地圖上之距離，即非 ΔK 而為 $\Delta K'$ ，但此 K 點乃直垂於 K 點之下者，故吾人必須將斜坡上所量得之距離，減為平距離焉。若斜坡之角度為 a 。則所欲測之 $\Delta K'$ 距離，即顯然可由 $\Delta K' = \Delta K \cos a$ 之公式中得之，此即謂之訂正斜坡法，在測鍊測量中，若非斜坡之角度已逾五度，即無使用此法之必要；多少測量家對於此法，亦皆喜用測量短距離法以避免之。其法係將卷尺平握於手，而將地下之標記插於該標記末端之直線錐子之下也。

測鍊測量法，對於狹小之面積，頗為適用，但吾人若欲繪畫大面積之地圖時，即須感受困難而發生準確不準確之問題矣。凡一優美之測量家，其測量一線，其錯誤不得超出千分之一，其意云何蓋普通鮮有時間能丈量一線



第五十五圖 圖中之虛線係指示最後須擦去之打樣線。注意第一打樣線處之角度約為三十度，而沿該虛線所垂下之直線，乃為區分比例尺，而該尺幾成正角之線，此種區分線即所以造成準確之工程者，若非其區分，業經勘定為相等後，則無比例尺可以認準確也

至兩次之多，除非測量者發覺第一次所丈量者，有可疑之點，乃須覆測。茲假定同此一線，已經四度之測量，而其所得之結果，適爲下表之所記者，即可見其四次所測之數，皆各自不同，倘取其平均之數，以爲標準數，吾人即可見第三次所測得之數，與平均之數，彼此相差爲四呎一吋，其餘之差數，則略爲減少，然在三四兩次實地測得之數中，其最大之差數，乃至六呎五吋之多，吾人於此，實難斷定何者爲準確之距離，或其中果有一正確之距離否，然以普通而論，其平均之數，較之單次測量之數，自當較爲準確，但其實地量得之差數，竟有六呎之多，則所得平均之數，亦殊難定其爲準確之距離也。大凡單次之測量，其錯誤之數，在六千呎中，不過得六呎，或一千碼中，不得過一碼，或一萬碼中，不得過十碼，此卽爲測驗工程是否正確之良法，並可斷定其工程是否可靠矣。

凡對於製圖之測量，吾人應使其測量之錯誤，須較之可以表現於地圖上

者爲小。茲吾人不論一精巧之繪圖員，究能繪得較細之數與否，均假定百分之一英寸爲在紙上可以量得最細之長度，則以一時等於一英里之縮尺而言，此數即可代表一七六〇碼之百分之一，或爲十七碼而強，故測量之總錯誤，若能在十七碼以下，則其工作，卽爲甚佳；惟以六吋等於一英里之比例尺而言，則其可以錯誤之數，須在三碼以下，而在更大之縮尺中，其數又須更小矣。英國參謀部測量局中之一吋等於一英哩之地圖，其闊爲二十寸，故卽可以代表一國中二十英里闊之區域，若以測鏈測量之，當非測量一線所可成功，而其每一線之錯誤，在每哩之中，可

	量得之距離	平均差
No. 1	5983.4 尺	0.8 尺
No. 2	86.8 尺	6.2 尺
No. 3	80.1 尺	4.1 尺
No. 4	86.6 尺	2.4 尺
平均數	5984.2 尺	2.5 尺

第三表

有一碼四分之三，其總錯誤，則爲三十五碼。在地圖上即可代表五十分之一吋，若在六吋等於一英里之縮尺中，則其在地圖上之錯誤，必較多於十分之一吋，假使吾人係按照六吋等於一英里之尺度而測量者，則吾人所錯之數，祇可限於三碼，而尋常測量一線至三千碼之長，即可有三碼之錯誤。是以若測量較三千碼更長之線，即不宜用測鏈測量法，必須另用一較爲準確之法矣。大凡測量大面積之法，譬如測一英國地圖，須在該國之面積上，布滿多數小點，並使兩點間之距離，不得過於三千碼之數，而所測定各小點之地位，必較測鏈所測者更爲準確，試一檢驗六吋等於一英里之地圖，即可見到處皆有小三角形所圍繞之細點，此細點即爲上述所布之點，且彼等之距離，常不滿一英里，因一國之地，其製圖時所用之縮尺，大都大於六吋等於一哩之數也。

III 角測量法 (triangulation)

測量之學有賴於三角，凡用準確方法，以測定三角上各點使成測量一國之基本者，謂之三角測量法；至各點間之情形則可用測鏈測量法沿三角站或三角點間之線以測量之而將其製入於地圖之中也。

幾何學中謂一三角形之形狀，吾人可以完全測定之，

幾何學中謂一三角形之形狀，吾人可以完全測定之，

(一) 假使各邊線之長度，已爲吾人所知，各邊線之長度在測鏈測量法中最易量得。

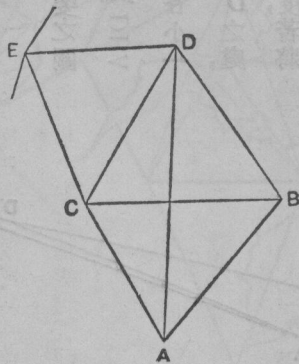
(二) 假使二邊線之長度，及該二邊線間之角度，已爲吾人所知，則可利用所謂周測法。

(三) 假使一邊線之長度，及兩角度之大小，已爲吾人所知，此則可應用三角測量法，蓋在一平面三角中，其

三角度之和爲一百八十度，若有兩角度已爲吾人所知，則其第三角度，即不難推而知之，若三角皆爲測定，則一觀彼等之和，即可斷定其測量之正確與否，故在三角測量法中，其三角之度數，均須測量之也。在地球表面之小三角，雖實爲弧形，但吾人亦可以平面三角視之，蓋其邊緣之長度，若不逾三哩，則其與平面三角之差數，並無若何重要也。

假定 A、B (五十六圖) 爲二點，而 A 地之經緯度，及 AB 之方向，已爲吾人用第二章所述之法所求得，且 AB 之長度，亦已用丈量法量得矣，於是吾人乃以 C 爲第三點，用一經緯儀將其次第安置於 A、B、C 三點上，以測量 ABC 三角形中之三角度，由此種測量之所得，吾人即可將 A 點畫於地圖之上而畫一 AB 線，並可將 B、C 兩點繪入圖中而將 ABC 之三角完成之矣。吾人或可用三角學以計算該三角中邊緣之長度，並由 AB 之方向及其角度而求得 BCCA 之方向而計算 BC 之經緯度焉。(參觀第九章第二百四十一頁) 現 D 若爲第四點，則吾人既知 BCCA 之長度，如再將兩三角中之角度 1-1 測量之，即不難由 BCD BAD 兩三角中而算得 D 點之地位，並由此兩種不相依賴之結果，即足表示吾人所測得者之是否正確矣。此法可推之以定任何其他之各點，亦即三角測量法之原理也。

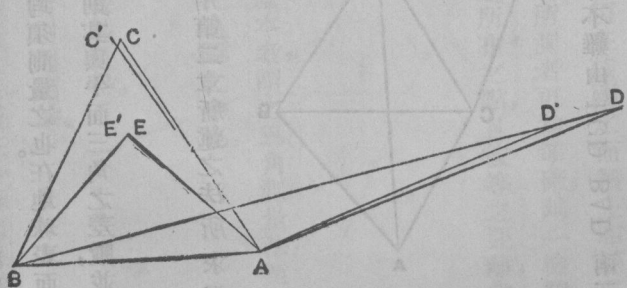
此項工程之準確，第一須視其測量 AB 線之細心如何，第二即須視其測量角度之細心如何，凡測量角度，若



第五十六圖

用經緯儀測之，即可準而且速，但在地面上實地測量一距離，則其工程必較難，且須多費時間以使之準確焉。大概測量之容易與準確，必須視其所測量之距離係在何種地方而定也。三角測量法之最大利益，則在祇須測一所謂基線者之距離，而此基線之測量，又可於所測面積中最適宜之部分行之，如在彼此距離甚遠之處，測得有數條基線，則其所測得之長度，可與由三角測量法所測得之同樣距離比較之，即可得一有價值之校對矣。

三角之形狀及其角度之大小，對於工程上可得之精密如何，實有重要之關係；在五十七圖中C、D為由A、B處所設定之兩點，其 $\angle CAB$ 之角為十度， $\angle DBA$ 之角為十度，而此所測之角度，可達一度之錯誤，茲假定其錯誤均係每角各小一度者，則欲將其改正，必須將其每角皆放大大一度矣。試將C、D之點移至C'、D'之處，其D處之變動須較之C處之變動約有五倍之多，又 $\angle FAB$ 角為四十五度，若將其改動一度，則其E處之變動，且較C處之變動為少焉。（三角測量法中最大之錯誤，祇可有數秒度，最多亦僅以六十秒度為限，而吾人現所假定之錯誤，竟至一度之大者，不過欲使其錯誤能表現於圖中耳。）是以測量角度之錯誤，其在小角度上所受之影響，較之在大角度上所受之影響，大相懸殊矣。故欲設定一點之位



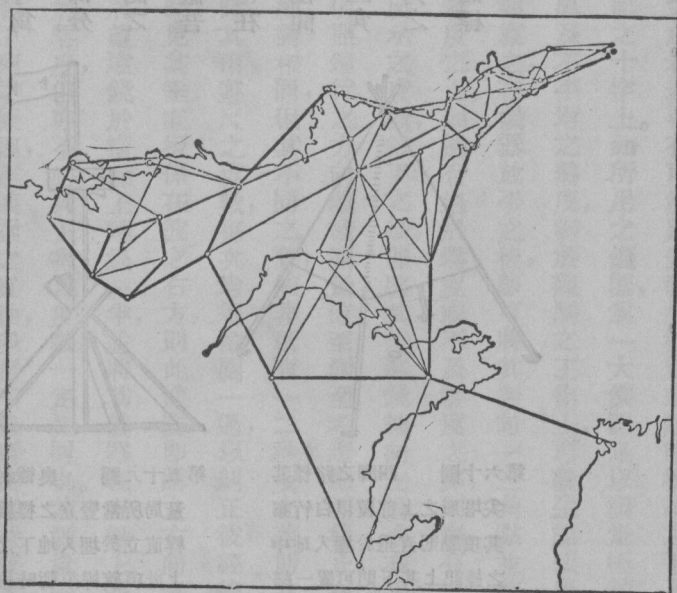
第五十七圖

置，莫善於將該點安置於一直角等腰三角形之頂點處，惟三角中之三點，必不能

點點皆如此設定，故其最好之折中辦法，祇須使一三角能近似等邊三角形而已。

三角測量法之施行，須注意於基線三角點之選擇及基線與角度之測量，其測量基線及角度之工程，則可由兩三隊之測量人員同時舉行之。

每一三角點，必須使其隣近之各點處，均能見之，庶在各點處可以觀測在該點所含之角度，是以各三角點往往皆設定於山頂或其他顯而易見之處，其在平曠之地，則恆不易覓得相當之位置焉。又每一三角點之處，須立標記二處於地上，其一為永久之標記，有此永久之標記，則在工程進行之中，若其臨時之浮標記，已被人移動或竟失去，或該三角點之位置，在日後測量時，尚須加以校正者，亦不難將試點之位置切實求得也；此種永久之標記，通常為一銅柱，外有水門汀，或石塊圍護之，其插入地中計有一尺或尺餘之深，其真正之標記，則為刻在銅柱光面上之精細之十字，此種標記，在未為土淹沒之前，必用一蓋以遮護之，其第二種之標記，則

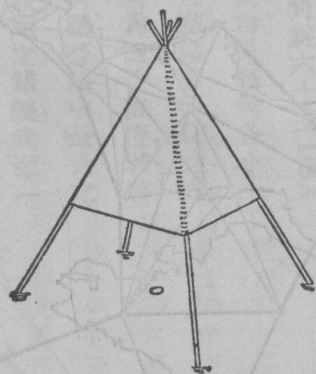


第五十八圖 英利吉之三角點極西南隅

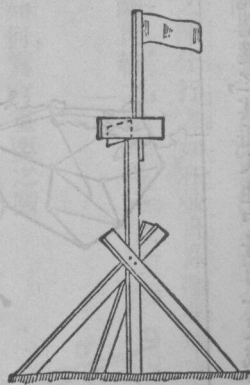
爲一路標或爲一標旗乃一種臨時豎立之物，能爲遠處所見者，此種豎立物，或爲一測桿豎一標旗，或一風標，以爲易於拔出該桿之用。至該桿之安置，須確爲垂直之狀，並須直覆於埋入地下之標記上焉。此項臨時之豎立物，又可爲一較大之建築物，但無論其爲何物，必須有一狹小之部分，庶可將此狹小之部分。小心安放，使之適覆於永久標記之上也。若在平陽之曠野中，有樹林或其他障礙物以遮蔽吾人之視線，則可用禮拜堂之尖頂。以爲三角點之位置；但在無禮拜堂之荒野中，則必須建立特別之建築物，如高樹間之測臺或高塔等類以代之，然欲使各三角成爲等邊三角形，則殊難求得此種便利之地，其最善者，亦祇能使三角之角皆可不小於二十度而已，若位置已選定，並用標記標明之後，則角度之觀察即可開始矣。

經緯儀 (theodolite)

經緯儀爲測量角度之儀器，其大小不等，現時所實用者，按照其橫板之直徑而言，大都自四吋至十二吋或至



第六十圖 四脚之路標其尖塔形之上部覆以白竹布其頂點則直垂於埋入地中之標記上其下則可置一經緯儀焉



第五十九圖 奧德耐斯測量局所常豎立之標旗其旗桿直立於埋入地下之標記上此項旗桿須暫時移開以爲安置經緯儀之用

十八吋爲止，此種儀器係用以安置於標旗或臨時標記之處者；若事有可能，則安置於標旗或臨時標記之下及在埋入地下之標記露出之後，並可使其中心直覆於該標記之十字上。如所用之儀器爲一大儀器足以測量極精細之工程者，則其儀器之上，且有避風日之簾以保護之，因風及不平均之熱度，對於觀測之工作上，可發生能感覺之錯誤也。凡在英國，其觀察之法，通常均須按照周轉法而觀察之，在儀器放平之後，即可將其對向一三角點並將其橫板整理之，使其地平角約近於零度之處，但不適在於零度之上，如遇有過於零度或不及零度之弊，則寧有過而毋不及焉。此項對準之三角點，即謂之考證點；當儀器上所示之度數，錄下之後，即將其望遠鏡轉向左邊或右邊之第二測點，又將其所示之度數，記於簿中，然後復將此法，依照鐘行之方向，繼續測量，直至測至考證點而後止，在此種測量法中，其末次所示之度數，與初次所示者，當不能絕對相同，但其不同之數，倘非祇有一二秒度之差，則其一圈之所測，即不能視爲滿意，必須重行測量矣。又測量之時，其兩遊尺之度數，每次均須檢閱一過，以糾正彼經緯儀上所示度數之用。若測量之人於使用儀器上之望遠鏡時，見其垂直板係在彼之右方，則此儀器即謂之右向者；此時測量者之第二步手續，即須由左向再測一圈。其法係將望遠鏡於橫軸上轉過一半，並將其儀器在直軸上轉過一半，俾考證點可以照入於望遠鏡中，並使其度數，復近於零度，但亦不必與上次之度數一定相同也。其測量一圈之法，則可依上法行之，惟其所以須再測一圈之目的，則有下列之原因，蓋儀器之直軸，多有不能適在其橫板之正中者，若果不在橫板之正中，則其右向之角，或嫌過小，而其左向之角，則或嫌過大，惟其過大之度數，必與其過小之度數相等，故若用其兩角之平均度數，即可免除錯誤矣。但僅用此法，仍有不能滿意之處；因在圈上所劃分之度數，

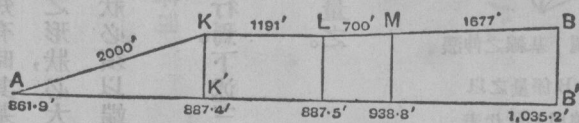
鮮有極對準確者，如欲使之準確，必須將每一角度沿圈上之各部分，以測量之。測竣後又以六十度為起點，以測量另一左向之一圈，然後仍將右向之一圈重測之，則此第二批所示之度數，即為由第二弧上所得者。至所測弧數之多寡，則須視吾人欲得如何準確之工程為標準，若在簡陋之工程中，則有此二弧即為已足，但在較精細之工程中，則須測至四弧八弧，甚或較此數而上之焉。若在一點之上，測算已畢，即可將儀器移開，仍將標旗置於其處，若所立之標不垂直則糾正之。

基線之測量 (Measurement of a base line)

第二問題，即為基線之測量，此項測量，須擇平正之地行之；昔時基線之長度，恆為五哩，或有過於五哩者，今則已知較短之基線如一英里或近於一英里之長度，亦無不合用之處，惟基線之長短，當然須以測量面積之大小，及三角邊線之長短為標準，吾人於基線之位置選定之後，即可按照標記三角點之法，將該線之兩端標記之，然後沿其全線，將其分作平均之間隔而置以木釘，或其他之標記，並須謹慎從事，務使此項標記，皆安置於一直線中，凡測量一基線，若工作較粗，其法與測量一直線相同，惟須多測一二次而已，若在精細之工作，則每隔一卷尺之長，須打一大木樁於地中，木樁之上，復須釘以包有鋅片之薄板數塊，且在用卷尺之時，其所拉之伸張力，皆須一律不變，其柄上所附彈簧之天秤，即為計算伸張力之用者。卷尺之末端，用小刀畫若干細線於鋅板上以標記之，其柄之末端，即為直界尺也。又卷尺之末端處，不可使覆於此項細線之上，非如在測鏈測量中之可使其加於箭形物之頂也，但

在每鋅板上所畫之線間之距離，則須另用一精細之尺度以量之，並將其所量得者，或加於卷尺之尺寸中，或減自卷尺之尺寸中，均以該卷尺之尺寸如何而定之，至在重要之測量中，則尚有更正確之法以爲測量之用焉。

對於已量得之長度，尙有某種改正之必要：第一卽爲上節測鍊測量法中所述斜坡之改正，茲爲顧慮此層起見，則其基線，必須使之非常平坦；第二則爲卷尺之長度與溫度之高低有關，必須於某溫度之下使成爲一正確之卷尺，因在較高之溫度，則其卷尺卽嫌過長，若溫度較低，則其卷尺又嫌過短也。至卷尺之溫度，可沿卷尺上數處不同之點而量其溫度並加以改正焉。然在簡陋之工程中，此項改正之手續，則可略而不用，但其應改正之數目，則吾人不妨用下列之事實以計算之，蓋一英里長之基線，若在攝氏表六十度測量之，較其在四十度時所測量者，須短八吋也。（卷尺之鋼其熱漲之直線係數在華氏表一度中爲 0.0000625 ，意卽增加華氏表一度之熱度，則卷尺中每一呎卽須長出 0.0000625 呎，若有五二八〇呎，則在加增華氏表一度之熱度時，卽須伸漲五二八〇倍之多，若再由四十四度熱至六十度，則其所伸漲者，又須再加二十倍矣，蓋因其熱度已加多二十度也。）此外尙有一種錯誤須改正者，則爲高過海平面之訂正也，其所改正之數甚微，故祇在測量極正確之工程中始一用之。凡一英里長之基線，若在高出海平面平均高度八百呎之處測量之，必須減少約三寸之長，此種減少之數，若在重要而精細之工程中觀之，亦

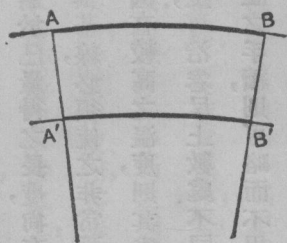


第六十一圖 改正斜坡圖。AB 基線在地面之斜坡上面之數目字，爲 AK, KL, 等之長度。下面之數目字，爲 A, K, L, 等高出海平面之高度。AB' 爲基線減少後之長度。

不為細數矣。六十二圖乃所以示明其減少之理由者。大凡三角形之基線多較其邊線為短，有時其基線為二十英里，而其邊線竟有長至百英里者，如在此種同樣之三角中，其基線乃為一哩，則其三角形之形狀，必大不雅觀矣。雖形式不佳之三角形在一種必要之時，亦未嘗不可適用，但與基線有關者，則其三角形之形狀必須以端正為主，六十三圖乃為示明如何使三角形成為端正之法，即謂之基線伸漲法。

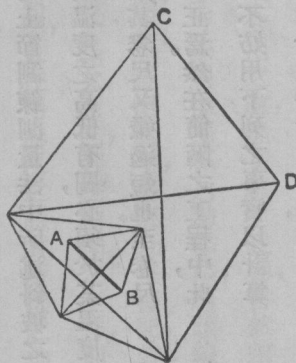
吾人現可將一切觀察所得及測量所得之數列舉於下，以表明此項工程之如何進行焉。下述三角測量法工程上之例證，卻非專指一種非常精確之工程而言者。

(一) 基線沿傾斜如六十一圖之地而測量之基線，因其總傾斜之變化，須分四段測量之。



第六十二圖 水平面之訂正

一基線 AB 在一高出海平面甚高之高原上量之。其訂正之長度為在海平面較短之 A'B' 線。AA'BB' 為垂直者，意即彼等皆落於地球之半徑上也。



第六十三圖 基線之伸漲

一基線 AB 係量之以求一邊線用 CD 代表之三角形者，此基線係用形狀整齊之小三角形而連於大三角形者。

(a) AK 長 2000 尺，A 之高度為 861.9 尺，K 之高度為 881.4 尺，兩地高下之差為 25.5 尺。

Log 25.5 爲 1.40654

Log 2000, 爲 3.30103

Log 2000, 爲 3.30103

L cos $0^{\circ}44'$, 爲 9.99996

L sin 角, 爲 8.10551

Log AK' 爲 3.30099

斜坡之角爲 $0^{\circ}44'$

AK' 之平距離爲 1999.8'

(b) KL 段爲水平面者

KL 之平距離爲 1191.0'

(c) LM, 段, 其 L 之高爲 887.5 尺, M 之高爲 938.8 尺, 兩地高下之差爲 51.3 尺。

計算之法與 (a) 節相同

斜坡之角爲 $4^{\circ}12'$

LM 之平距離爲 698.1',

(d) MB 段其斜坡之角 $3^{\circ}.18'$

MB 之平距離爲 1674.2'

故基線 AB 之長度變成平距離即爲 5563.1 尺。

(11) (測量所用之記角簿中一頁之格式) 此爲在三角點 A 處所觀測之角度。

測量站之呼號	爲 T. P. A.	觀察者	湯姆 仇吾司
日期	一九一九年七月十二日	記錄者	地白朗
天氣	明朗	略有薄霾	

觀察之徵信 佳美

儀器 四吋子午測量器

弧	測量站	面		角		度						
		遊		尺		與平均數		最後之均數				
		A	B	A	B	A	B					
E.K. S.W.R.	T.P.E.R.O.	00° 21 83 147 229 00	39' 04 29 16 31 40	46" 23 03 20 42 08	39' 04 28 16 31 39	56" 16 55 13 40 58	00° 21 83 147 229 00	39' 04 28 16 31 40	51" 20 59 17 41 03	00° 24 49 20 36 28 00	31 23 02 20 51 44 00	57" 00

(註釋)

(一) 第一行之SW及R字樣，即測量一圈之角度時，其儀器皆轉向右方之意也。若在同一弧上測量左向一圈之角度時，則其儀器即須轉向左方，蓋其目的，係欲免除機械反動之影響也。

(二) 在橫弧上之兩遊尺或測微器，則標以A、B兩字，其在直弧上者，則以C、D兩字表示之。

(三) 在第四行中其角度之度數，可無重寫之必要。

(四) 在第六格中，上一行之數，乃為第五格中第一行與末一行平均之數。第六格其餘數目乃由第五格各行減其第一行之數而得者，是以此等數目，即為代表由攷證點至每一標旗之角度距離者也。(按攷證點即R、O)

(五) 在求第五格中之均數時，如遇有半秒之數，可以一秒計算之，及至計算左向一圈之角度時，若遇有半秒之數，即須忽而不計焉。

(三) (三角之分解) 在此站，可於同一弧上再測左向一圈之角度，然後於別一弧上以九十度為起點，而將

其左向及右向一圈之角度測量之，至在其他之三角點處，亦須照樣測量之，並取其平均之數以為每一角之角度，此種角度，可用量角規或用測三角弦之法，將其畫出，（見第六章第一五二至一五三頁）但用此法以畫其角度，則欲免除錯誤之增加使不至顯露於圖中即不可得矣。是以一切三角形必須用三角術將其分解於下也。吾人將討論一 ABC 之三角，其 AB 之邊線，乃為三角測量法之基線。（見六十四圖）

所用公式為 $a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C$ ；是以 $a = c \sin A \div \sin C = \sin A \cdot c \cdot \operatorname{cosec} C$ ，

$\sin B$

計算：

量得之角度

改正之角度

A. $62^{\circ}24'43''$

$62^{\circ}24'38''$

C. $57^{\circ}58'19''$

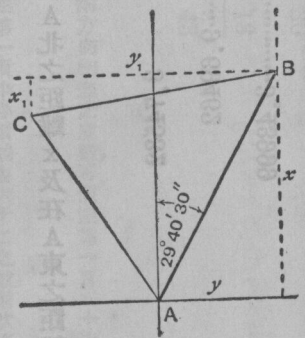
$57^{\circ}58'14''$

B. $59^{\circ}37'13''$

$59^{\circ}37'08''$

總數.....180 00 15

180 00 00



第六十四圖

$$L \sin A \text{ 爲 } 9.94762$$

$$\text{總數} = \text{Log } a = 3.76466$$

$$\text{Log } AB \text{ 爲 } 3.74532$$

$$a(BC) = 5816.5'$$

$$L \operatorname{cosec} C \text{ 爲 } 10.07172$$

$$L \sin B \text{ 爲 } 9.93585$$

$$\text{總數} = \text{Log } b = 3.75289$$

$$b(AC) = 5661.0'$$

(註釋)此三角既如此之小，吾人即可視之爲平面三角，而其角度之總數，當爲一百八十度，其所多之十五秒度，則其測算上必不可免之錯誤。惟此項量得之角度，若皆假定其爲可以徵信者，則每一角度，即多出五秒度，必須將其依法改正之，但其錯誤之數，若竟有一分度之大，則其工程殊難徵信，即有重測之必要矣。

(四) (直角座標) 圖上各點依照其離 A 點向東之距離及向北之距離而放入。此種距離，即謂之直角座標，其計算之法如下。

自 B 至 A 之方向測得爲 $29^{\circ}40'30''$ 度 (見六十四圖) 則 B 在 A 北之距離 x 及在 A 東之距離 y 即可計算焉。

$$\text{Log } AB \dots\dots\dots 3.74532$$

$$3.74532$$

$$L \cos 29^{\circ}40'30'' \dots\dots\dots 9.93894$$

$$L \sin 29^{\circ}40'30'' \dots\dots\dots 9.69462$$

$$\text{Log } x \dots\dots\dots 3.68426$$

$$L a_{gy} \dots\dots\dots 3.43999$$

$$x = 4833.5'; \quad y = 2754.2'$$

AB 之方向……29° 40' 30" BA 之方向……209° 40' 30"

A 角……62 34 43 B 角 59 37 13

AC 之方向 …… 327 15 47 BC 之方向……269 17 43

(註釋)

(一) AB 線既如此之短，故其經線之會合性可以略而不算，而沿此線相反之兩方向相差之度數，可假定為一百八十度。(參觀第一章第十一頁)

(二) 六十二既不能減自二十九，故必須於二十九之上再加三百六十之數焉。在第一項中必須減去六十二之數，因欲將 AB 轉至 AC 之線，則必須經過六十二度有奇，而在第二項中，則又須加入五十九度有奇，因欲將 BA 轉至 BC 之線，則必須依時針轉向相反之方向而轉動也。此則應於六十四圖中，將其研究而得之。

Q 之直角座標。

Log AC …………… 3. 75289 3. 75289

L cos Bg. …………… 9. 92482 L sin Bg. …………… 9. 73302

3. 67771 3. 48591

x = 4761. 1'; y = -30613'.

Log BC …………… 3. 76466 3. 76466

L cos Bg. 8. 09645 L sin Bg. 9. 99997

1. 86111

3. 76463 291

$$x = -72.6'$$

$$y = 5816.1'$$

$$B \text{ 之 } x = 4833.5'$$

$$y = 2754.213'$$

$$\text{故 } C \text{ 之 } x = 4760.9';$$

$$y = -3061.9231'$$

(註釋)若 x 係在起點之北者，則其符號爲十，在南則爲一，若 y 係在起點之東者，則其符號爲十，在西則爲一。

此處之起點爲 A，其由 BC 而得之座標點乃在 B 之西南之距離。(見六十四圖)而 A 之西北之距離，則須由 B 之座標點以計算之，學者於此，當知每一工程，皆須有繪圖之必要焉。

依據第三章第八十六頁之所述，則 x y 自可認爲直角座標，但吾人現所從事者，既爲地球上較小之面積，則可假定其爲平形，而以經緯線爲彼此相交成爲直角之直線，至縱橫線者，即第九章第二百三十二頁中所謂經度差與緯度差且在該章內吾人即知如何可以用 x y 由 A 之經緯度以求得 B 及 C 之經緯度矣。

吾人所述之三角測量法，係假定地球可以當作平面者，殊不十分準確，且進一步言之，實爲錯誤之源也。此種錯誤，積少成多，即漸成極大之影響，故必須用一種三角測量法之制度以限制之，所用之三角，須格外較大，觀察之時，必須異常審慎，計算時所用假定之說，亦須愈少愈妙；此種三角，分解之時，須以弧三角視之，至測量法中最準確之法，則爲主要五角測量法，及大地術之三角測量法，其所用之三角，竟有一百哩長之邊線者，又有副三角測量法，雖不如前法之佳，但亦非常準確，吾人現所研究之一種三角測量法，則謂之小三角測量法，或第三等之測量法。大

凡測量之工程愈準確，則其費用亦愈多，是以較精神之工程，祇用以駕御費用較省及工作較粗之工程。

參謀部之測量法 (Ordnance survey)

英國參謀部測量局對於詳細之測量，均用測鏡測量法爲之，但現在更用一種新發明之測量法矣，此法前曾用以繪畫歐戰時所用之地圖，今則於測量殖民地之工程中多用之，又有平版測器者，在昔乃爲一種粗陋之測量儀器，但使用該器之各種精密方法，則已爲印度測量局所發明矣。

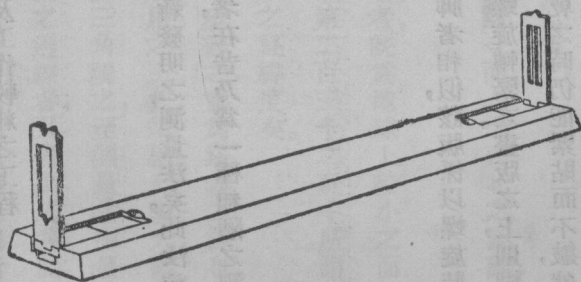
平版測器 (plane-table)

平版測器者，爲一圖畫版裝於堅固之三腳架上與一攝影機之架帶有活動之脚者相似，該版係以螺旋裝於三腳架上，將螺旋放鬆，即可使其沿一橫平面而旋轉，如欲使其停於何處，則可將其螺旋轉緊之。畫版之上，則糊有較該版大數寸之圖畫紙一張，其糊紙之法，須先將紙浸溼，俾可伸直於版上，及至紙乾之時，仍能緊貼而不皺，然後再將四週之紙邊，緊糊於畫版之後而固定之，惟該紙之乾，至少須時一日，在其正乾之時，吾人亦可用圖畫釘將其紙釘住，以免移動，但此項圖畫釘在測量之時，即須拔去，蓋該圖畫釘若在畫板之上端，即須阻礙工程之進行，若在其他各處，則又有礙於測定磁經線之羅針儀矣。其最善之法，莫如先用麻布一塊，將其覆於畫板之上，仍將其四週之布邊，糊於板後而固定之，然後於麻布上復糊以畫紙一張，並將其紙邊亦緊糊於板後，惟此種工程往往皆有彼

專營此業者爲之也。

指方規 (Alidade)

指方規係與平版測器同時並用者，規上有厚重之直界尺一枚，規之兩端則裝有有樞紐之照準器各一。後方之照準器上有一垂直之狹縫，其前方照準器之縫，則較後方爲闊，其中並繫有垂直之鐵絲或頭髮一條，其照準器之線則與直界尺之邊成平行線，除通常所用有描準器之界尺外，尚有一種有望遠鏡之指方尺亦時有用之者，在此種指方尺上其所用之描準器，則爲一望遠鏡，其接目鏡上，且有縱橫線焉，此指方規對於長距而準確之計算上，頗有用處，如在探險之測量中，常以平版測器用作唯一之測量儀器時，則尤有賴於此規矣。平版測器亦可用以繪畫完美之測量圖，惟須先測量一基線，並用天文之學理將該基線之方向求出而繪之於畫版中，至其圈之概略，則可用三角測量法繪成之，將其三角之邊線先行畫於圖上，然後按照觀察之所及，逐一將其所測之地繪於地圖之中。至三角之形狀，須善爲規定，務使其基線之長度，約與其三角之邊線相等，於是乃將平版測器置於測量地上之基線之一端，將指方規置於一代表基線之線上，然後將測器旋轉，直至基線之彼端已映入於



第六十五圖 指方規

描準器中，乃將該測器之方位整理之，換言之，即使該測器居於其正確之方向中也。於是再將指方規描向造成三角頂點之各顯明點上，並畫若干歧線至各該點之處，但此項歧線必須將其畫得甚長，足以經過平板測器之紙上所畫之各點，同時又須畫若干短歧線，使達於該紙之邊際，蓋沿較長之歧線，較之沿較短之歧線，更可將指方規安置，較爲正確也。茲爲整潔及明晰起見，不可使所畫之歧線穿入起點之內，在畫歧線時，應用一五H之硬鉛筆將其筆端削成長細而光圓之形狀，所畫之歧線，則愈細愈妙，但仍須畫得精密整齊，使其能確切經過該起點也。吾人如欲使指方規之近端與起點相接，可於該點上插針一枚，但此法殊不佳，最好將鉛筆之後端，削成刀鋒之式，再將鉛筆牢牢插於畫版之上，則其指方規之邊，即可與在該點之刀鋒相接矣。又每一歧線畫成之後，必須誌以標記，以資查對，惟其標記之法，須非常正確，使其一望而知某標記係指示某歧線，而毫無紊亂不清之弊。

當基線之兩端，均已爲平板測器測過之後，則其畫版之上即有數點係爲基線兩端所繪歧線之交叉點，此點即謂之交切點，於是乃將平板測器移置於此項交切點中之某點，而將其方位準定之，其法係將指方規置於由基線一端所發出之歧線上，再將畫版旋轉，直至將螺旋轉緊之時，基線之一端適映入於照準器中爲止，然後又將指方規移置於基線他端所發出之歧線上，此時基線此端可以映入照準器中，則其測器所據之點，即已確定無誤，而其工作即可繼續進行，倘基線之一端不能映入照準器中，則全部之工程，必須重做矣。其第二步之手續，則須繪畫歧線，使經過其他可見之交切點，此時若三歧線適相交於一小點，則各點之位置乃可視爲滿意，但若三歧線不能確切經過同一小點，即須棄置不用，或另行測定之，蓋不論何種位置，若非爲兩歧線所定，又爲第三歧線所證實者，

則皆不能用也。

凡在測器尙未移開某點之前，宜將其圍繞該點之詳細位置，約略記於圖中，此事不難憑吾人之眼光及用畫至各要點之短歧線以爲之。至離各點之距離如其較短者，不妨以步行測量之，較長者則可用卷尺測量之也。

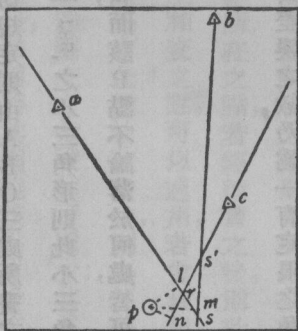
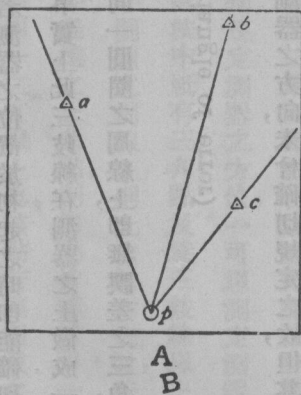
平板測器之最重要及最普通之用處，係在已經經過三角測量之面積中，進一步而測量其詳細圖形也。在未測量以前，即須將所測面積中之三角點繪於平板測器之上，及至實行測量之時，其第一步之手續，即須至各點之處逐一測量之，先將測器置於某點之上，再用通至其他三角點之歧線，以測定其方位，然後向其餘各點上，再畫若干歧線以校對其點之位置焉。即有附加之點，亦可用歧線通過之，則俟用平板測器之人將各三角點逐一測量之後，其畫版之紙上即可畫得圍繞各點之詳細圖形及無數交切點矣。

由此觀之，則此項工程可用兩種異途同歸之法以進行之，其詳細圖形中各孤立之小區域，必須將其聯成一氣，此事大都可將測器移至各交切點以爲之，但此種交切點亦不能視爲最有用之物，蓋其要旨之所在，乃須測器移動之次數少而詳圖所得者多也。當使用平板測器之人經過所測之面積時，即能察得在某點之上，乃爲可以求得最多材料之處，而將其測器置於該處，並用割截之法以規定其測器及其自身之位置，此實用平板測器中一種特異之法也。

試以 a、b（第六十六六十七圖）爲平板測器上之兩點，並爲地面上 A、B 在測器上之位置，於是乃將平板測器置於第三點之 P 處，畫兩歧線使經過 a、b 兩點以至地面上之 A、B 處，並使此兩線相交切於平板測器上之

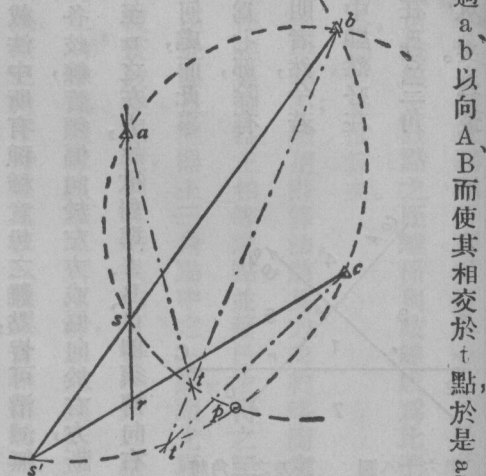
S 點，然後將畫版之螺旋放鬆，使其轉動少許，仍畫兩歧線使經過 a、b 以向 A、B 而使其相交於 t 點，於是 $\angle a b c$ 及 $\angle a t b$ 之角，即為相等角，因其在測器上同含 $\triangle A B$ 弧也，若將測器屢次轉動之，即可畫得無數相等之角，而其角之頂點 S、t 等點，均將同落於以 $a b$ 為弦之圓圈之弧中，若 e 為地面上之第三點與平版測器上之 C 點相等，則在 $a b$ 線畫好之後，即可畫 180° 之歧線，使經過 c 點以向 C 處，而與 $S b$ 線相交於 S' 點，若測器在 $a b$ 之位置時，則又可畫 180° 之線，並可照此類推以求得其他之各點焉。又 $B a c B t c$ 等等之角，亦均屬相等並為 A 與 B 在測器上之角度距離，而其角之頂點亦皆落於以 $B c$ 為弦之

圓圈之弧中，此兩弧相遇之處，一在 b 點，一在 p 點；而此 p 點，即為 P 地在地圖上之位置，因在地圖上其 $a b$ 及 $B c$ 在 p 點所含之角即為地面上之 $\triangle A B$ 及



第六十七圖

A 圖表示平版測器係準確規定者 B 圖表示平版測器係由其準確之位置斜出十度之狀其經過 a b c 之光線在此兩位置中為平行線

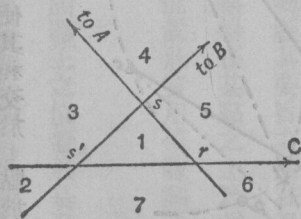


第六十六圖

PO 在 P 點所含之角也。若測器之位置於初起之時，即能確切規定，則由 A、B、C 三處所畫之歧線，即能於畫版之上經過同一之 P 點，惟如事實上此三歧線在測器之上做成一 *fan* 之小三角形則此小三角形即謂之誤差之三角，但 A、B、C、P 若皆在於同一圓圈之周線上，即無誤差之三角，而該 P 點不論落於何處，皆可合於以上之條件矣。

誤差之三角 (triangle of error)

誤差之所由成，乃因測器之方向，未曾確切規定之故，但其差誤之數，乃為一有定限之角度；故每歧線之畫至 A、B、C 者亦相差一同等之角度，若吾人能將此節牢記之，則在割截法中所有種種意想之難點，皆可消滅無存矣。此項有定限之角，乃為 $\angle pas$ 或 $\angle pba$ 或 $\angle pca$ ，其由此角所畫之各歧線，皆須偏向於左方或偏向於右方，斷不至有數線偏於左方又有數線偏於右方也。在六十六圖中各歧線偏至 p 之左方，故欲對準 A、B、C 即須轉向右方矣。吾人若已有三歧線及一誤差之三角，即可測定其真實交點係在何處，而此事為之亦甚易也。第一，各歧線可將圍繞該誤差三角之空處，分隔而為七部，除有一部係在三角之中，其餘則皆在三角之外，一如六十八圖中所標明者然，今若引據真實之點必在每一歧線之左方或右方之說，則該點在此圖中顯然必在標記二或標記五之空處，學者根據此理，即可知該誤差之三角，若在 $\triangle abc$ 三角之中，則其真實之點，必在該誤差之三角中，不然，即在誤差三角之外矣。茲畫



第六十八圖 誤差之三角將
其四圍之空地分成七部分

$pl\ pm\ pu$ 三線使直垂於歧線之上，（六十七圖）其 $pas\ pbs\ pcs$ 之角既屬相等，則其 $pal\ pbm\ pcm$ 之三角必皆彼此相似，而 $pl\ pm\ pu$ 線亦必比於 $al\ bm\ cm$ 之線或由歧線至該點之距離係與歧線成爲比例也，於是 p 之位置即可推算而得，若歧線之中有一線較其他之歧線爲長，則更易推算矣。

其推算之法，乃將平版測器置於吾人所需要之處，而使之與地平相平；繼用計算法，將其方向約略測定之，然後選擇三角點三點以爲割截之用，又在每一三角點上畫一歧線使經過測器上相等之點，並藉已求得之誤差三角以計算彼平版測器所在點之位置焉；於是乃安置指方規使經過此點及測器上三角點中之一點，而尤以最遠者爲佳；然後將測器旋轉直至地面上之三角點映入於照準器中，復畫歧線三條，則其結果或可得一第二誤差之三角，但此項工程若能準確，則此三角當較前三角爲小，且可由此三角中以推算該點之新位置，即將測器之方位重新測定，復依前法再演一次也。但此法尙須繼續爲之，直至已無誤差三角可得並見彼三歧線皆相切於一點而後已，於是又可再畫一歧線至一第四點上，若該線亦能顯然通過彼同一之點，則此種割截法，即爲滿意矣。割截之法，其用處有二：一可以確切規定測器之方位，一可以測定測器所在之點，若經練習之後，則此法之施行可於二三分鐘內，即行告竣焉。在割截法中祇有三角點及爲三歧線以上相交之點，可以適用，若曾被割截之點，即不得再用也。惟所有四點若皆落於一圓圈之周線上，則此法即爲失敗，若果有此種情狀發生，則必須將其中一點棄去，而另擇一點以代之，最好能擇一最遠之三角點，則四點皆落於同一圓圈上之危險即可減少；其另一整列三角點之良法，則爲使其三點幾皆落於同一之直線上也。該點若經割截之後，即須將其圍繞該點之詳細圖形，約略繪於圖中，

此種詳細圖形，宜以有規則之通行符號以表明之。本書第二版圖中即列有此種符號之表焉。

學者不可用平板測器以行其所謂周圍測量法，因此法不能盡該器之所長而得有準確之結果也。惟在叢林森立之地，別無他法可用之時，則必須一用之矣。吾人若欲割截由測器所在點可以望得之點，則不妨在測器未移開之前，先畫一歧線，使達於該點之上，如在該點處，尚有他物可以為描準之目標者，則尤有繪畫此種歧線之必要，且有此線之後，則當測器移至該點之時，即可約略標定其方位。惟此種標定法，必須用割截法以校正之始能準確也；一般非測量專家又有以槽桶式之羅針儀以規定平板測器之方位者，此種羅針儀為一狹小之長方盒，上有一玻璃蓋，盒內則為一活動之磁針，其中又有一粗線條與盒之長邊成平行線者；當測器放定之時，則用此羅針儀以規定其南北之磁線，及至測器之位置規定之後，復將羅針儀轉動，直至磁針橫臥於粗線之上為止；同時又於磁線之處，沿盒邊而畫一線，以後即可將該羅針儀沿此線而安置之，並將測器轉動，直至羅針居中而後已，蓋如此即可使測器之方位，得以約略標定，若再以割截法試之，則往往可得一誤差之三角，而其確切之方位，則必須用割截法以求得之也。

周圍測量法 (Traverse)

在樹木叢生之地，三角測量法或有窒礙難行之處，則地圖之總綱及其細目，均可用周圍測量法以繪畫之；此種周圍測量法，乃專測測量之線，頗有類於測鍊測量法者，但在此法中，其各線間之角度，亦必須量過耳。（如第五

十六圖 ABC 之角是也。) 至其詳情，吾人於此，不能細述焉。(見附錄第四章第三四兩節) 經緯儀之周圍測量法，係用測鍊以測量其線，而以經緯儀測量其角度者，若一地平經度業經察定之後，則其角度，即可化成有度數之方向，而其經緯度，亦可用第一〇八頁中第四項之說以計算之；凡在一種地勢上不能使用三角測量法之時，即用此經緯儀之周圍測量法以替代之，蓋周圍測量法雖不能如三角法之能自行校正，但亦可設法校正之，即測量一地之周圍直至原處為止，而求起迄點之是否符合，或可測量至一點其地位已為三角法所定之點處以校正之也。

在樹木叢生之地，若欲求得一長距離之邊線，則往往頗為困難；而用短距離之邊線則又須多測角度，是以其工程即須遲緩，其錯誤之機會又必較多，而因中心點不準而發生之錯誤亦必較大也。至周圍測量法工程之紀錄，則與測鍊測量法之紀錄相同，其角度如係前角，則記於中央之格，如係邊角，則記於記支距之格中。又羅針周圍測量法，係為一種粗糙之工程，此項工程中之角，即為羅針儀之度數，往往多用稜形羅針儀或測量羅針儀以測量者。至其距離之尺度，則多藉步行或步行平均之速度以得之，此項羅針周圍測量法所得之結果用量角規以定其地位已可，因其不甚準確故不值以直角座標計算之也。

水準測量法 (levelling)

在測量詳細地形之外，其地面之凹凸，亦須將其記入地圖之中，至其記入之法，則可以水準測量法為之，凡測量者於測量詳細地形時，即宜由幾處觀察點將其小山及其他地勢之概形，約略記下，以為水平器工作上之一助，

而此種工作，即爲地面凹凸之準確測量也。

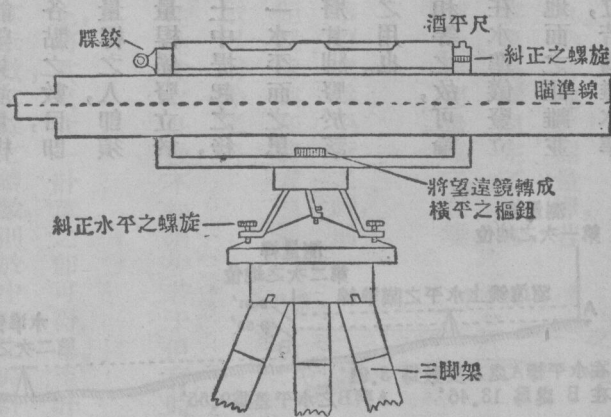
如地球係真圓者，則在同一水平線上之點其離地心之距離，必彼此皆同，而其高度，則須依照與海平面相等之地球表面以定之。茲爲便利起見，吾人可假定地球爲圓形，以爲易於推究其事之真理焉。海平面者，乃一變化不定之物，其變化之程度，因海潮之起落而日有不同，是以在多數地方，如在利物浦（Liverpool），然，其海潮之起落，往往須用經年累月之工程以觀測之，現在英國即以利物浦海潮之平均高度爲其國之海平面，凡各地之水平線，均須依此而增減之，此海平面之高度，約爲利物浦春潮半水之高。全國各地，均有測量所留之標識，其高出平均海平面之高度，則均已細心測定之矣。此種測量所留之標識爲一寬闊之箭形物，或爲鴉爪式之物，其尖端有一橫線嵌於路碑石、房屋及其他永久建築物之中，凡任何新奇之水準測量法，均可根據此種標識以爲之，然後將其所測得之平均數目減削之，使與公認之海平面相等，此種海平面，又稱爲英國參謀部之基準水平焉。

在準確之水準測量法中，其所用之器具，爲一水準儀及一測量桿，測量桿之格式爲一長方形之測桿，該桿普通皆可伸縮，爲便於攜帶之故，往往折成三段，並由桿之下端起分有一尺，一寸，及一分之尺度，有時該桿之上，復附有一小小之酒精水平器，或垂準線之錘子，以爲該桿直立時藉以指示是否垂直之用者。

水準儀之主要物，爲一望遠鏡，其鏡之接目鏡上，則有定視線之縱橫線，且其裝置之法，可使沿橫平面而轉動焉。固定於望遠鏡上復有一長而靈動之（酒平尺）與視軸或描準線，適成平行線。其水準儀之全部，則有水平螺旋將其裝置於一堅固三腳架頂端之板上，此三腳架之安置須使該儀器幾平於吾人眼力所可察得之水平，並爲

牢固起見，又將其三脚架之脚插入於地中，然後用水平螺旋以使該儀器成爲真正之水平，庶於望遠鏡不論指向何方之時，其酒平尺之水泡，皆得在於中間，故望遠鏡之描準，現亦成爲水平形，而於地面上某有定之距離處，卽已固定一所謂水平面，或水平線焉。

水準儀置好及校正之後，卽將測量桿豎直使其下端之脚停於一高出海平面之高度業經知悉之標記上，此時卽可將水準儀上之望遠鏡轉向測量桿，並記取其望遠鏡上縱橫線所示之尺度焉；若其尺度爲三·九一呎，則水準儀之描準線，卽較標記之水平高出三·九一呎矣。於是可將該測量桿沿水準儀所指之方向而移動之，使其在水準儀前之距離適與其在水準儀後之距離相等，然後又將望遠鏡轉向該測量桿，仍將其尺度記取之，若其尺度現爲一三·四六呎，則測量桿之下端卽較水準儀上描準線之水平低一三·四六呎，卽較水平線起點之標記上之水平爲低，卽爲一三·四六呎減三·九一呎或爲九·五五呎，（第七十圖）惟所要者當觀察之時其酒平尺之水泡須適在該尺之中心，此種記下之尺度，可記入水準測量簿中；其第一次之度數，謂之前示數，而第二次之度數，則爲後示數，此兩種示數之差，卽可表明測量桿豎立各點間之



第六十九圖 測量家之水準儀之主要部分

水平差，且無知水準儀高出地面之高度之必要。此時該測量桿即可使之立定於原處，然後將水準儀移向前面而安置之，但須注意該水準儀不可安置於不能望見測量桿度數之處，且因有此種過慮，連同不可記取過長之推算，及水準儀所需各點之數目，即可決定該水準儀應移之遠近如何；當測量桿安置及校正之後，彼持測量桿之人，即須將水平標旋轉，使其有數目字之一面，得與用水準儀之人相對，若該測量桿係豎立於浮土之上，則旋轉之時，即有將其腳根之土翻轉之虞，且該水平標，如由土中提起之後，即有不能確切置於原處之虞，或有置回原處之後而不能使其仍在同一水平面之患焉；故必須釘一木樁於土中，使與地面相齊，在每次豎立水平標之時，即將其腳豎於該木樁之上，或用一如拳大之石塊，將其埋入地中，亦可以為豎立水平標之用也。

水準儀於向前描準與向後描準時，其離測量桿之距離所以必須相等之故，可論之於下。七十一圖中之 ΔB 係代表尺度放大之水準儀描準線者，該線在水準儀豎立之點與地球之半徑相交成爲直角，其 A 處離地面之距離，與水準儀離地面之距離並不相同，蓋 A 處離地面之距離須較高 Δa 之一段，但測量桿前後之地位，若爲離水準儀有相等之距離之 A 與 B ，則在 aA 及 bB 兩邊之錯誤必彼此相同，而雙方所高出者，亦必爲相同之數，祇須減去雙方之差數，即可無錯誤矣。



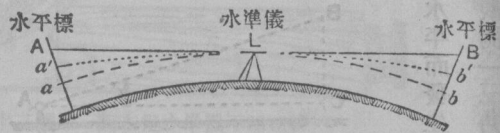
第七十圖

又一光線由水準儀處進行而入於離地面愈遠之空氣中，該光線即須經過較高及較稀之空氣，折射成一 ALB 所代表之彎線，並欲使所得之度數成爲過低之趨向焉。至光線彎曲之程度，須以空氣中之溫度及其氣壓如何而定之，大凡風雨表之度數較高及寒暑表之度數較低之時，則其彎度，必須增加，但其所增之數，究爲若干，則實無從斷定也。然兩地之測量桿，若離水準儀有相等之距離，而其相距亦不過遠，可以假定兩測量桿間之空氣係爲固定不變者，則兩地所發生之錯誤，必彼此相同亦可依前法而消滅之，至水準儀與測量桿間最遠之距離，則至多不得過二百碼。

最後，望遠鏡上之酒平尺，倘有不可整理，及不能與望遠鏡上之描準線成爲平行之時，則在測量桿上兩方之度數即有太高或太低之弊，若在後方照準器上之距離能與在前方照準器上之距離相等，則其錯誤又可相等，並可藉前示數與後示數間之差數以消除之矣。

地球彎度所發生之錯誤，每哩約八吋，折光之錯誤，係變化不定者，往往較之此數，不知須少若干，但有時亦有達於此數之半者。

欲求水平線之水平點，其事甚易，祇須將測量桿移置於此種之點上，將其尺寸一計算之即可得也。至計算高下之法，往往先算後示數，向後描準記其讀數，而最後始向前描準而記其示數，其餘之讀數，則於中間之時計算之，謂之中間之讀數，凡此種種讀數，即可分別記於水準測量之簿中，又使用水準測量簿之法，爲類甚多，雖其中各有



第七十一圖

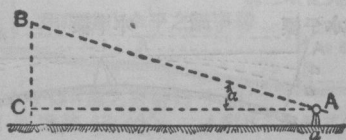
各之利益，而其目的則皆相同。惟究應採用何種方法，則祇須憑使用水準儀者個人之所好以定之。

凡水準之測量無須以已知之水平面為起點，固已甚明；但各水平線恆須前後有呼應也。意即此項水平線或須以水平面確已知悉之一點為起點，而以別一此種之點為終點，或其終點須終於其起點之點，蓋如此則其水準測量法中之錯誤，庶可易於斷定。若以後者言之，則在水平線中之某點，必須與一水平面已知之點相遇也。

求水平面之差數其法雖尚多，但無一有如下法之準確者，其法乃為丈量兩地間之直垂角，而此兩地之位置則須為已知者，若在A處B之高出橫平線之直垂角，業經量過，則其在B處A之橫平線下之角度如有事實之可能，必須於同日之中丈量之，蓋如此則關於地球彎度所發生之錯誤，及為計算水平差所不可免之天文折光差之錯誤，即可相同而互相抵消矣。

此項計算之法甚為簡易，若 ΔC （七十二圖）為橫平線， BC 為通過B之直垂線，或即為B在A上之高度，則 ΔC 即為由A至B之平距離，此項距離，可以測量而得之，其所量之直垂角為 $\angle CAB$ ，而B在A上之高度則等於 BC ，即為 ΔC 乘該角之正切也。但在此高度中，必須將所用儀器高出地上之高度 Δa 一併加入而計算之，又由改正彎度及折光錯誤表中所得之數，亦須加入焉。

在準確之工程中 $\angle CAB$ 之角度，須以經緯儀之直垂圈量之，但其角度若因整理經緯儀之水平而發生任何變化，必須加意改正之，因此種變化乃為計算一圈之角度時所常有者；至其角度之改正，則恆於觀測一三角點之

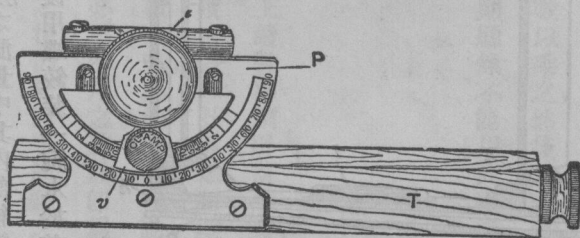


第七十二圖

地平角時行之，在此種情形之下，其各點間之平距離，即為三角測量中之三角邊線之長度。至於較粗之工程中，其所用測量垂直角之儀器，則謂之測斜儀，茲有兩種，述之於下。

阿布尼水準儀 (Abney Level)

第一種謂之阿布尼水準儀，此儀器為一小望遠鏡 T，其上緊附一量角規 P，(七十三圖) 其度數則以一遊尺 V 計算之，此遊尺則連在一纏繞於該量角規中心之臂上，又有一酒平尺 L 半貼於此臂而與之成爲直角，在樞軸處則另有一球形之柄附於該臂之上焉。直接在酒平尺中心之下，又有一窗戶開於望遠鏡上，並橫截該望遠鏡至一半之深，在望遠鏡之內，則又有一小而平滑之鏡，其位置適與望遠鏡之描準線相交成一四十五度之角。當該儀器用以求一俯角或一仰角之時，彼觀察者須由望遠鏡中以觀彼仰角或俯角尚未求得之目標，並將鏡上之縱橫線適移至一點上，然後將支着酒平尺之球形柄轉動之，直至彼可見該酒平尺之水泡折射於小鏡之中而映入於望遠鏡之縱橫線上而後已；此時之酒平尺適成水平線而在遊尺上之度數，即爲吾人所求之角度也。在此情形之下，其至該目標之距離，須從已測定之圖上以量之，(例如由平版測器之紙上) 此圖面積即爲吾人所測量者，且在此圖上某兩點之距離早已測定。

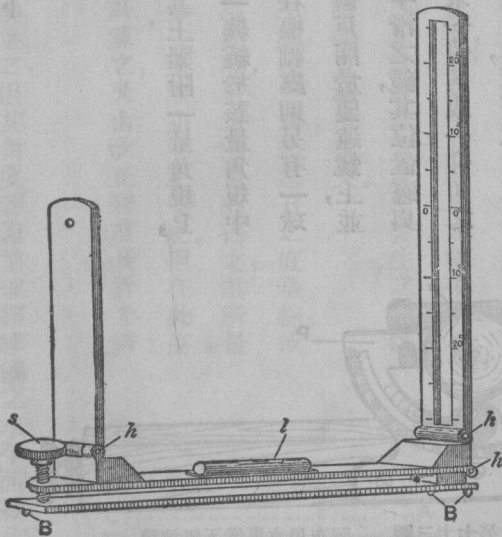


第七十三圖 阿布尼水準儀下望遠鏡
P 量角規 L 水平線 V 遊尺

印度測斜儀 (Indian clinometer)

其他之測斜儀，即為常用於平版測器工程中之印度測斜儀，該儀器首用於印度之測量中；其內部組織之最要者為一銅盤，該盤支於三圓球B之上，藉以使之穩固，（第七十四圖）盤之一端復用蝶鉸裝一腕木於其上，該木之每端則各裝有一垂直之薄片，此種薄片，須用蝶鉸裝置，俾能摺平而便於攜帶，及至開展之時適與該腕木成為正角，在此腕木無束縛之一端，則有一糾正水平之螺旋，腕木之頂復又有一酒平尺l，其在該腕木有蝶鉸之一端之薄片，則較其他一端之薄片約長一倍許，然後將此較長之薄片縱切之，其在切口之一邊，則有一量角之比例尺度，而在其他之一邊則為一量角度正切之數字，而此種尺度復須由切口之中間標明向下讀向上讀之字樣，其他之薄片，乃為後視片，其上有一針孔，其孔之高低則適與前視片上比例尺度之0處相等。

用平版測器之人，恆有用此測斜儀由各遠點已知之高度處以求得彼割切點之水平線，其平版測器之紙上



第七十四圖 印度測斜儀 h 蝶鉸

所繪各三角點之水平線則爲已知之數。在某點之位置，其水平線正爲彼用平版測器之人所欲求者，已經固定之後，即可將測斜儀安置之，使沿此直線而達於一三角點，並將其水平糾正之，又可由該測斜儀之視孔中以察得與前視片上遠點之影相等正切之數，然後於彼平版測器上一量其距離，再用正切之數以乘之，然後又減去該儀器之高度約在三尺之譜，即可求得彼割切點之水平矣，惟在彼地球彎度甚大之距離，則顯然不能用此種儀器，或阿白尼之水準儀也。

空盒氣壓表 (aneroid barometer)

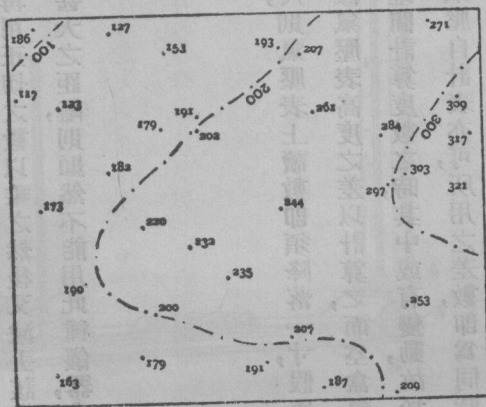
一、約略之水平差，可以空盒氣壓表以求得之，計高出海面每九百尺，則氣壓表上讀數即須降落一寸，假使一氣壓表在一已知之高度處計算之，然後攜往山上，則其水平差可以由該氣壓表高度之差以計算之，而空盒氣壓表上往往附有高度之比例尺，藉以免去計算之勞，但普通之氣壓在兩地間計算度數之時，其中或有變動，故於起點之處，必須另留一氣壓表於一定之時間屢屢計算之，或於該處留一氣壓自計表亦可，所用之差數，即爲同時在兩地間所得讀數之差數。又有一較爲草率之法，於不得已時亦可用之，即爬至山頂之後，仍舊回至起點之處，再一讀其氣壓表之度數，然後計其差數即爲在山頂之氣壓表之高度與在起點處兩次所讀數之平均高度間之差數，然即此辦法，往往亦有不可能之時，故氣壓表上之高度，猶之以沸點所求高度，殊不甚可靠也。（參觀第七章第一

七二頁）

等高線 (contour)

畫在地圖上之線，經過高出海平面各等高之點者，謂之等高線。倘各點之水平，在地圖上視之頗為接近者，則此項等高線可於各點畫好之後，再行繪入，如七十五圖。惟彼繪圖者，必須審慎從事也。圖中各水平線可以使繪圖者有一種地面斜坡之整齊印象，假使此為斜坡為劃一者，則二百尺高之等高線可經過高度點二〇七及一九三間之中間，而距離二〇二，須較一九一為近焉。如彼斜坡係為凹形者，則該等高線經過二〇七須較一九三為近矣。如欲尋求此種概寫之等高線之水測量，須可循直線而行之，譬如由一山峯而射至各方。或由一山谷，須沿地面而至另一山谷，彼用平版測器之人，在畫等高線時，則須由其水平線已知之刻切點以概寫之。

有用之等高線，須用多數之點，將其確切標記於地上，當用平版測器者於各點處已將各標記標定之後，則此種標記，即可用測鍊或其他方法以測量之，至在測量時臨時所繪之地面草圖，則對於指導繪圖人之繪畫等高線上，殊為有價值也。



第七十五圖 由固定水平面所畫成之等高線

第五章 地圖之讀法 (Map Reading)

地圖讀法即爲地圖之應用，且含有能演繹地圖中簡括之符號內所含之意義也。彼善於研究地圖者，必須能審度於地圖中究有何項知識可以爲吾人所得，若在一非等積之地圖上而欲求得各地之面積，或欲在一地圖集中小尺寸之地圖上以求地球上大部分之長距離，則得爲無意識者之所爲也。又研究地圖者對於地圖及普通所用之符號，亦不能不詳悉焉。

縮尺 (Scale)

地圖之縮尺，當視製此圖時之用意而定之。城市地圖，必須用較大縮尺，庶一切詳情細節，乃能準確列入焉。在英國參謀部測量局所製之此項地圖，其所用之縮尺，則爲以十英尺代表一英里者，若對於鄉村之區，地價低廉，用此大號比例尺度，則每一紙或僅能列入一田園之一部，而不能更及他物，故以用較小之縮尺爲宜，於是乃有二十五英寸等於一英里之地圖以資應用也。（比例 1 : 2500）至磅瘠之山地或高原，則並此縮尺猶嫌太大，故製六英寸地圖（比例 1 : 10,560）以應用，卽爲最通行之大尺寸地圖矣。換言之，若概括研究一城及審查其與鄰近之地之關係，則無人不以十英寸地圖爲適用，而反以六英寸或一英寸地圖爲較合宜，惟旅行者，對於六英寸之地圖

則必以爲太小而不適用，因每一紙上所表示之地方甚少，故寧用一英寸地圖以代之，若彼適在馳馬乘自動車或汽車時，則 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{4}$ 英寸之地圖，當更爲適用；因每紙上所示之地較爲寥闊，而所有道路則仍詳示清晰也。凡目標愈廣泛者，則其所需要之地圖之縮尺亦愈小，如概括以研究各國或各洲，則用地圖集地圖可矣。

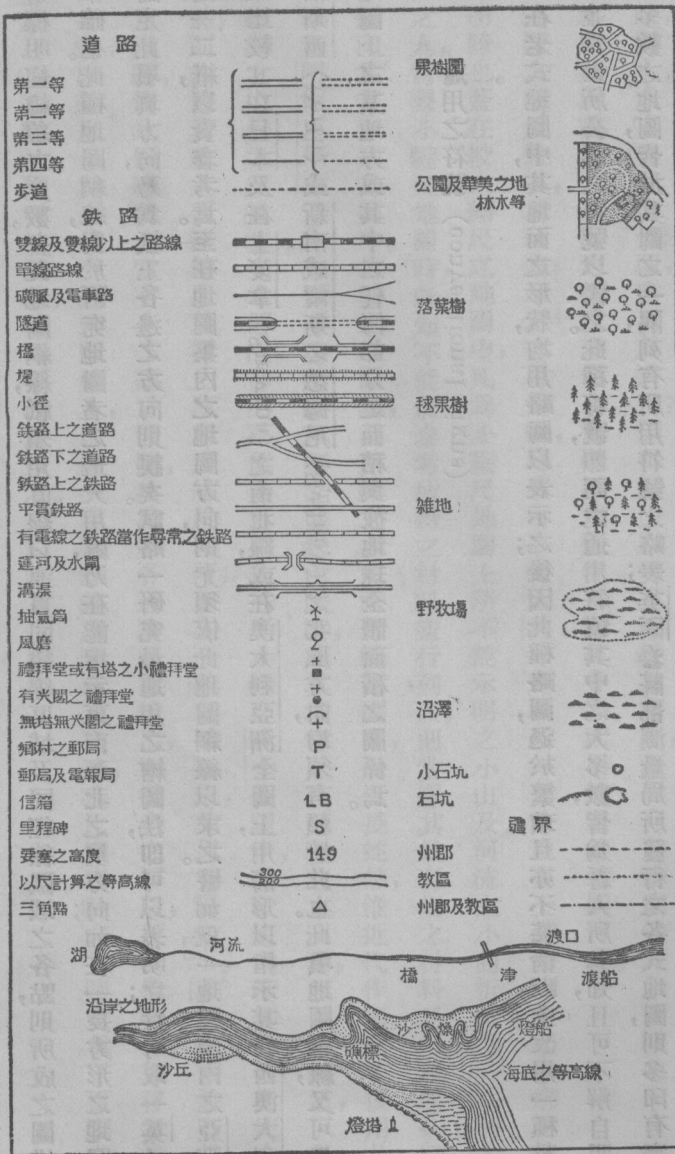
地圖之縮尺愈小，其所表示者亦愈簡略，學者可一較六英寸地圖及一英寸地圖上所表示自己本鄉之土地，即能明瞭也。蓋在較大縮尺之地圖中，凡爲小縮尺地圖上所不能示明之小山及河流之小曲折，皆能一一列入，故製圖之人，當製小縮尺地圖時，既知不能將參考所得之材料盡行列入，則當擇其最有用之材料足以示明一國之最準確印象者詳列於圖中。古時之地圖集，其所繪之大山脈皆蜿蜒國中，如一長蛇然，惟近代作者已不復用此法；但在表示阿爾卑斯山 (Alps) 爲一帶連續不斷之並行山脈時，則其種種狀態如隆起之高峯，窪下之峽道，以及該道所經過之山巔，及穿插其間之河流，亦必不能盡行列入於一小幅之瑞士全圖中，苟欲使此種細節，皆能使人一目了然，則非將其放大使遠超出於圖上所用之縮尺不可；即在一英寸地圖上，其以相隔 $\frac{1}{2}$ 英寸之兩並行線所表示之道路，依比例率計之，當有七十碼之開闊，如欲將各道路明白繪出，則道旁之房屋及其他物件，須移置於二十碼之外。在縮尺 1:250,000 之地圖集上，即以一尋常細線所表示之道路，在比例率計之，其闊當爲三百碼左右矣。凡此以上諸點於研究地圖時，不可不注意及之。

吾人已知地圖之性質，須視其所用之繪圖法以推定之，而在地圖集之地圖上者所關尤爲重要。茲依畫地圖集地圖，或畫地形地圖，及水路圖之慣例，將小方格之地圖網線，畫於圖上，（見第三章第五十八頁）而於圖之沿邊標明經緯線之度數。畫此地圖網線，祇須用直線以連貫同緯線區域，及同經線區域之各點，則所成之圖樣，必甚準確也。此種地圖網線，對於研究地圖者之最大用處，乃在能指示東南西北之真方向；如在一長方形之地圖上，而認定此項真方向，乃爲紙上各邊之方向則誤矣。試略一研究最通用之繪圖法，即可以表明之；并可取一英寸之地圖一二紙，以資參考焉。至在地圖集內之地圖方向，則尤須依此地圖網線以求之。譬如就一地圖集內之亞洲全圖，以比較其在日本及在士麥拿（Smyna）之南北線，或在澳大利亞洲全圖上，用箭形以指示其在西澳大利亞之伯斯西（Perth）或新南威爾斯之悉尼（Sydney）之北風方向，均須有賴於此也。此項地圖網線，又可示明此地圖上之某地方或其中之任何部分之面積與彼地球全體面積之關係焉。

通用之符號 (conventional signs)

在老式地圖中，其地面之形狀，均用略圖以表示之；後因此種略圖，過於繁瑣，且亦不甚清晰，遂改用一種整齊劃一並爲世所公認之符號以代之。此種符號，即謂之通用符號，其中之大多數，皆爲吾人所熟知，且可不解自明者。多數之地圖，皆於其圖之一隅，列有所用符號之略表；英國參謀部測量局所發行之各式地圖，則多印有完備之通用符號表焉。茲擇其符號中之最重要者，列入第二版圖中；凡用以表示地形之凹凸，以及辨別崇山深谷山地

平原者，尤宜特別加以注意焉。至表示地形凹凸之方法，約有數種，或有單獨者，或有聯合者，然未必皆能適用於地

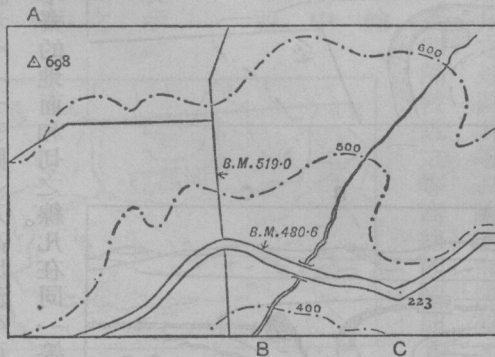


(註)所有之深水線及淺水線，在英格蘭及愛爾蘭是為低潮，在蘇格蘭是為大潮。

海底水平曲線依據海軍地圖，英格蘭及蘇格蘭在平均海平線之下用呎表示，在愛爾蘭則在平常大潮之淺水線以下用尋表示。

圖集地圖，故吾人不妨先假定現在所討論者，係爲地形地圖也。

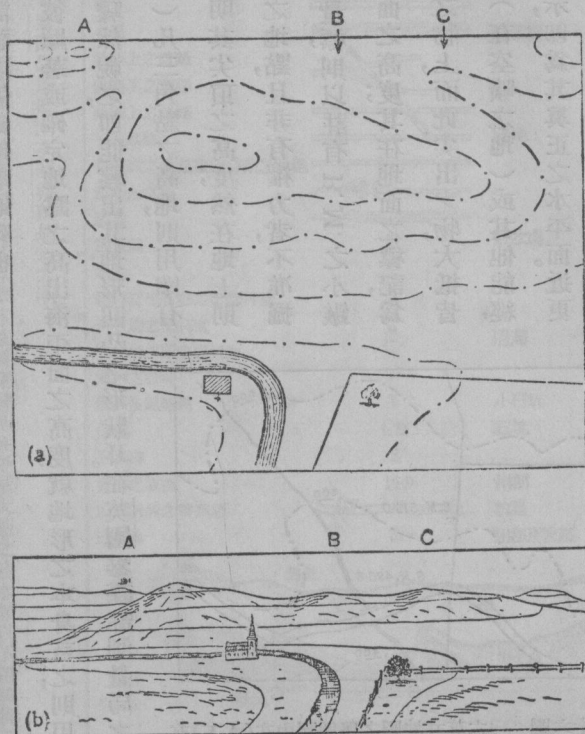
最簡易之方法，乃在地圖上標明彼顯著或確定地點之高出海平面之高度；就地形之本身言之，則用此法所表示者，可稱準確可靠，惟不能使吾人驟然視之，即能察出其地形凹凸之形狀耳。在英國參謀部測量局之地圖上，曾示有三種單獨之高度（七十六圖）凡三角點之高地，則用圍有小三角之小點以表示之，並在其旁標明其尖頂之高度；然在地上則大抵無表面之標記以指示一三角點之地點，且非有權力者，不准掘起及恢復一三角點也。圖上之平地測量標，則以註有 B. M. 之小鏟形記號表示之，其旁復註有高出海平面之高度；其在地面之標記，爲一鏟形記號，並有一橫線架於一尖出之物上，而此尖出之物，大抵皆附著於房屋，橋梁，門柱，圍牆，以及巨石，（在空曠之地）或其他能經久不移動之物件上者；此橫線之所標示，即爲其真正之水平面。近更立有較新式之金屬標記，其水平面則移至一圓柱之頂端。又吾人常見地圖上或路上之小點，會有尺數標明高度於其旁者，乃爲當地水平面，並爲指示在測量時所固定而量平之點；然此項之點，則並不標明於地上也。所有各種高度，皆以高出利物浦之平均海平面爲標準；此項平均海面，即爲大衆所依據之水準基線，並不與沿海各處之平均海平面相同也。



第七十六圖 六英寸地圖之舉例圖中在(A下)有三角點在(B上)有測量留存之標識在(C上)有當地之水平面及有在一百尺垂直間隔之等高線

等高線 (contour lines)

表示地形凹凸最準確之方法，即為利用等高線是也。所謂等高線者，（七十五圖）乃高出海平面高度不等之橫平面，（實際為與圓球或地球海平面相並行之平面）與參差不齊的地面相切之線。凡在同一等高線上之各點，其高出於海平面之高度，皆彼此相同。如加水於海中，使其平面升高一百英尺，則其沿岸線，即成爲一百英尺之等高線；其真正之沿岸線，則爲零度之等高線。在海平以下之深度，或海底之等深線，則稱爲等深線，（參看氣候與天氣章之等壓線，及等溫線等等。）凡在地圖上兩鄰近之等高線上各點間之高低差，謂之等高線之垂直間隔；每一地圖所採用之垂直間隔，須視其圖之縮尺與



第七十七圖 a圖即b圖所示一鄉村之地圖其等高線祇示及『下層地形』A而不及B與C焉

所繪土地之性質而異。因間隔愈近及地形之起伏愈顯者，則所須之等高線亦愈多，但過多之線使之充滿地圖，而令圖上所載之詳情細節，模糊不清矣。又製圖之宗旨，亦與所繪等高線之多寡有關。所有各等高線並不能表示各線間之地形，而在一垂直間隔一百英尺之地圖上，如英國參謀部之地圖然；其一切小山，並附屬之山峯，以及其他綜錯紛紜之情狀，不能見圖即曉。（七十七圖）為工程上及軍事上所用之地圖，其等高線之間隔，殊不宜如此之遠，吾國所製之法國戰圖，其等高線之間隔為五米達；（十六英尺半）蓋間隔較近之等高線，觀看頗為易易，因其能襯出較細之暗陬，而使地形之起伏，直呈於目前也。界線者，乃為草草繪成之等高線，由高度已知之數點連接而成者；每有多數之美國地圖，其中之細節雖甚簡略，而其界線或等高線，則獨間隔甚近，故能使人舉目一視，即能洞見其地形起伏之圖形也。

由一等高線之地圖中，而欲推算一地之斜度，並繪一截面圖以表示之，其事頗為易易；譬如吾人欲將此法應用於七十八圖上 A 及 B 中間之地，則可用一直線以聯絡此兩點，而繪一圖表於一張尋常之分區或方格紙上，使其橫線為 AB 線交過各連續等高線之各點，縱線為高出海平面各等高線之高度，茲為便利起見，可使橫線之縮尺，即為地圖之縮尺；而其垂直之縮尺，或縱線之縮尺，若欲使其便於應用，則須將高度放大，使其地



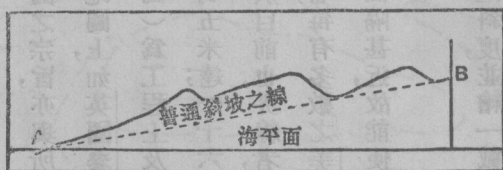
第七十八圖 圖中有在一百尺垂直間隔之等高線之圖
注意等高線如何由 V'S 而上至山谷之情形

形之起伏，較爲顯著而後可；然亦不可放大過甚也。圖中A B曲線乃以手繪之線但須經過所定線之各點。七十九圖，即爲表示傾斜度之變化，暨自A處至B處（AB線）之平均斜度，以及地圖上之等高線相距愈近則地面之斜度愈大之真相。當截面圖之垂直及橫平之縮度並不一致之時，若於此截面圖中而量得地形之斜度，則非將其放大之數縮去不可；但一截面圖亦可沿一曲折之線，或沿一彎線而繪成之。學者應沿七十八圖中所標明之亞馮

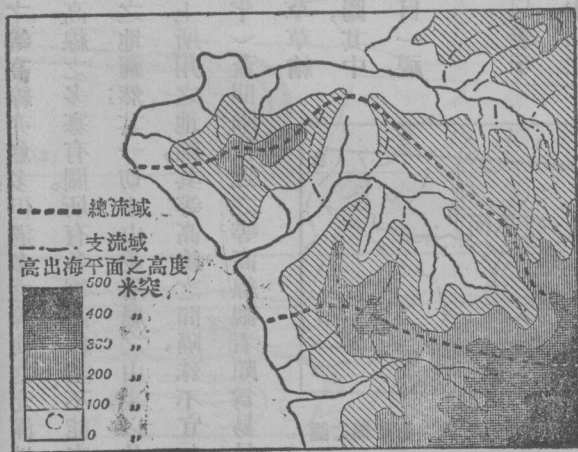
(Avon) 河之河身而繪一圖，則其所繪成者，即將爲一水底或谷底之縱截面矣。

各河流莫不順其自然之趨勢而沿彼最峻削之斜坡以流動者；其各處峻削之斜坡之路線，即爲河流線，而此種路線皆須穿過等高線而與之相交成爲直角焉。

如採用色層制則等高線即更易於一目了然，此種色層制，乃在選定之等高線間之隔間處，依彼悉心鑒定之著色程序而施以顏色也。（參看第八十圖）通常



第七十九圖 爲上圖由A至B之截面圖



第八十圖 河身及其流域

所選顏色大率以虹之色階爲標準，先於低窪之地，施以綠色，初時其色較深，及地漸高，則所施之色亦即漸淡，繼則由綠色而轉入褐色，則其土地之着色，又爲下層色淡，漸高漸深，及至最高之處，則所施之色，常爲朱紅，或爲純白，巴托羅繆 (Bartholomew) 之半英寸旅行地圖，乃採用色層制之最佳範本；實則此項旅行地圖，即爲首先採用此制而製成者；但在高等地圖集及同一書局所出之新時代地圖集中，現亦採用色層制矣。若在等高線上，施以顏色，即足使地圖成爲一十分顯著之國家形勢圖，而其上所陳列之種種，仍能不失其精密與準確也。然大抵地形愈高，則其傾斜度必愈峻削，其等高線必愈稠密，而每一色所佔之地位，亦必愈狹；如一張紙上須表示水平面極參差不齊之地形，則必至因等高線間之間隔太狹，而無從施以顏色也。故爲應付此種困難計，不得不將其等高線之間隔，設法更動之；然此法最易引入於迷途，學者不可不時時留意焉。譬如英國參謀部測量局之地圖，恆按下列之高度而劃分等高線者，計爲五十英尺及一百英尺；又一千英尺以下之地，每一百英尺爲一界，一千英尺以上，則每二百五十英尺爲一界，故一千英尺以上之斜坡，似較一千英尺以下者爲平易，而其實則不然也。（試於巴托羅繆半英寸地圖將其採取之方法研究而比較之。）

影線 (hachures)

等高線之制度，亦爲影線法之基礎也。影線者，乃劃於等高線中間之流線，因欲使斜坡顯著，故斜坡之傾斜愈甚，則流線間之距離亦愈近；即等高線相距愈近，則其影線必愈多也。（亦往往愈粗）故陡削之斜坡，必須施以濃

重之彩色，而極平坦之斜坡，則可任其留爲空白，有時吾人可以察得一影線於經過等高線處，皆留有一斷痕；是以等高線雖未印於地圖上，但呈白色之線，而此種情形，尤以在法國地圖中爲更顯也。在多數地圖中，其等高線及影線皆並爲列入。故其結面，始能得一極其醒目及極易研讀之圖。蓋僅憑影線之作用，祇能襯出斜坡而已，其對於高出海平面真實之高度，則並無何等報告；惟有等高線及色層，則與影線適有相反之功用也。

多數近代地圖，每以粉筆畫法，或尋常分濃淡之彩色畫法以代影線者，且公認地圖上之顏色須畫之使有如陽光自西北方照耀於土地之上之現象。吾人如欲一觀此項畫法之佳本，可於英國參謀部測量局之半英寸地圖內覓之，且在此項地圖中，其等高線亦皆用磚紅色或棕色以表示之也。

鑒別地形之起伏，而能以敏捷出之，殊爲研讀地圖者應具之一種最重要之目的；倘有事實之可能，則彼寧用有等高線之地圖，以其精密而醒目也。凡在等高線圖上陸地狀態，或其形勢，一覽即可明瞭，吾人即能立辨若者爲低地與若者爲高山矣。地之在六百英尺等高線以下者，謂之低地；地之在二千英尺等高線以上者，謂之高山；地之在此界限中間者，謂之高地；至平原者，乃爲一片平壤，雖其表面上不免有低山岡嶺以及山谷等雜現於其間，然就大體而言，則其地形之起伏，實甚微渺也。又低地，高山，以及高地之上，皆無處不有平原，高山之上平原，其地之沿邊陡然削下者，則謂之高原。（見八十四圖）自海平面或低地向上傾斜至一山峯或分水嶺而止，過此以往，則其地復又向下傾斜矣。且因其地之水，係分向山峯之兩旁而流者，故有分水嶺，以及分水界之名焉。凡一斜坡，既自分水嶺向下傾斜之後，或復向上傾斜，則圍在此高起之斜坡中者，即爲一山谷；山谷之底，即斜坡之會合處，爲山谷之

線，或為沿流域最低處之線也。一指定之分水嶺或分水界之中間，則為一盆地，或為流域，又有副分水嶺者，可以將總匯水之區，分而成為支谷；其分水嶺之形狀，則大抵似一不規則之V形，其頂為海割去，而海濱遂成為盆地邊界之一部分矣。（八十圖）然有時此項分水嶺，或竟接連成圈，將其盆地完全與外界隔絕，而在乾燥之地如死海區域，或美國之內華達（Nevada）盆地，或南澳大利亞之埃爾湖（Eyre）盆地等處，則其盆地之水，將匯集於該區域之底，且因其水之蒸發者遠超出於所降之雨水，故並無餘水傾注入海；凡此種土地，是謂內流區域或內部匯水區域也。又有幾處土地之底，即如上面所提出第一處之底，係在海平面之下者，故在此種情形之下，乃有所謂下沉區域，或低窪地矣。（八十一圖）

斜坡之種類不一，凡自一徐徐上升高低不一之地平以至一山地之危崖峭壁，莫不謂之斜坡；大率在

高地或多小山之地，則其斜坡，皆為凸形，及漸近山頂，即漸平坦，而在高山峻嶺之地，則其斜坡乃為凹形；其高度愈高，則其斜度亦愈陡峭。又平坦勻淨之斜地，謂之斜平原。此等斜坡，大抵係徐徐向上者，其勢極為勻平，直至達於頂巔，乃忽折而向下，則其勢，乃較為險峻，此種險峻之斜坡，則謂之危崖，或謂之巉崖，而與此同樣之地形，必常與高平原或高原相連屬也。（八十二八十三圖）英吉利之南部，及東部接連哥羅塞斯德（Gloucester）及惠特必（Whitby）之一帶，乃為研究危崖峻阪之地者之最佳範本，其第一危崖，起自西南之科次窩爾（Cotswold）山脈，迤邐



里數之比例尺度
0 100 200 300 400 500

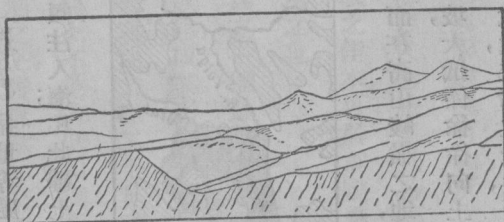
六百呎以上之地.....
海平面以下之地.....

第八十一圖

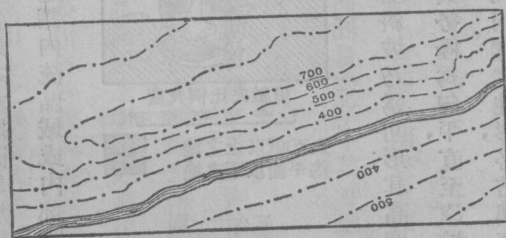
——內部匯水區域—— 真海

而入於東北之諾爾桑波敦 (Northampton) 高地，轉而向北乃入於林肯山 (Lincoln Edge) 之邊界；此危崖正對北部與西部，稱爲侏羅紀 (Jurassic) 或魚子石 (oolite) 之危崖，(註一) 再進而南，則爲石灰石 (chalk) 之危崖，(註一) 亦正對於西北，自薩里斯布里 (Salisbury Plain) 平原之高地，分解而成白馬山 (White Horse Hill)，轉向東北而爲契爾忒 (Chilterns) 山，因復與東盎格利亞 (Anglia Ridge) 山脈相連，又於諾福克 (Norfolk) 境內折而向北，是爲諾福克 (Norfolk Edge) 山界，而爲瓦什 (Wash) 山所遮斷矣。過此以往，則其所取之方向，似爲北西北即爲林肯平原，及入約克州 (Yorkshire Wolds) 平原，乃轉折東向而直達於海焉。學者不難於地圖上，一索彼橫貫於維爾特 (Wald) 兩相對面之南部與北部之石灰石危崖也。

在許多國家中，此種危崖，對於人種歷史上之關係，實非淺鮮，研讀地圖者，不可不重視之也。在英吉利一類之國中，其長而平坦之斜坡，自危崖之基脚漸斜向上，而將其國分成大小不稱之山谷；其直截面，則一邊陡削，一邊平坦，所有河流，則大抵皆流行於危崖之下焉。平坦之斜坡，可作



第八十二圖 峻崖及不均齊山谷之略圖

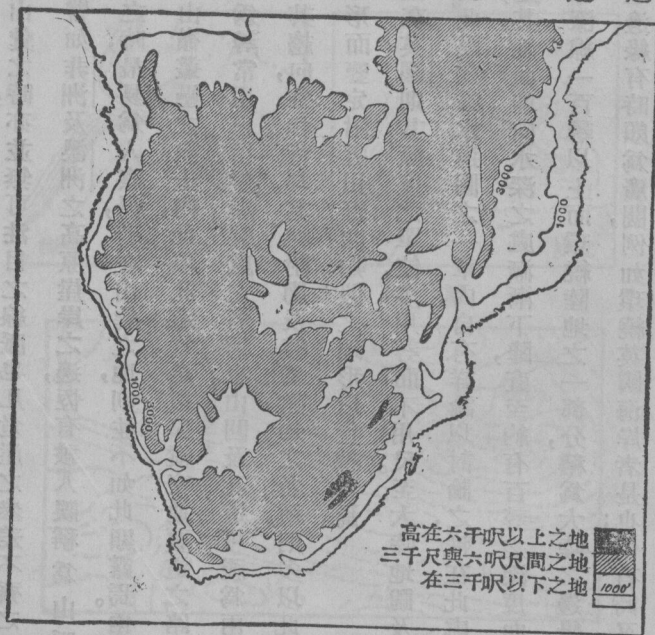


第八十三圖 等高線地圖上之峻崖

(註一) 由於地質學石層時代之關係，此兩者皆含有石灰質，且爲石灰石所積成者。

一種民族之居留地，山谷之界線，則可使居民便於遷徙，而使其交通較爲便利也。至陡削之危崖，則實爲此兩者之障礙。又道路與鐵路，原欲循危崖之界線而行者，僅至裂斷處乃橫貫而過之。至此項危崖對於研讀地圖者之功用，則在能顯然表出所謂一處之地理學上之個性，且明示一國之地文學，及人種地理學所根據而成之計畫焉。江河之循此本性而趨平易之路者——在此種情形之下，必與危崖並行——謂之縱谷之河，其橫貫而過者，則謂之橫穿之河。

陸地之形勢，永不能平勻一致，即吾人所稱爲平原者，其表面亦有凹凸不平之狀，而斜坡之參差不齊，尤關重要焉。當斜坡隆起而截成無數小塊之高地時，吾人即可得有高山小阜矣。通常高出於二千英尺者，乃得稱爲高山，然其名稱，亦須視一國之地勢而轉移；在英國所稱爲高山者，阿爾卑斯山之區域內，祇能稱爲小阜焉。所有高山或可循極清晰之界線而排列如阿爾卑斯山，然此項高山，即爲山脊之最高部分，並可組織而成山脈，或可爲一帶高

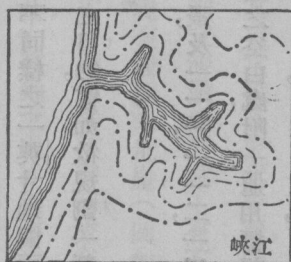
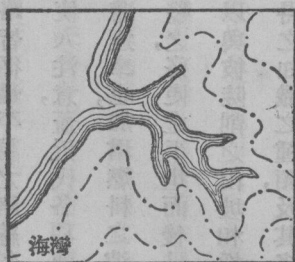


第八十四圖 南非洲之高原現有一陡削之危崖入於海但爲多數大河流深深刻入之注意其等高間隔之不齊狀態

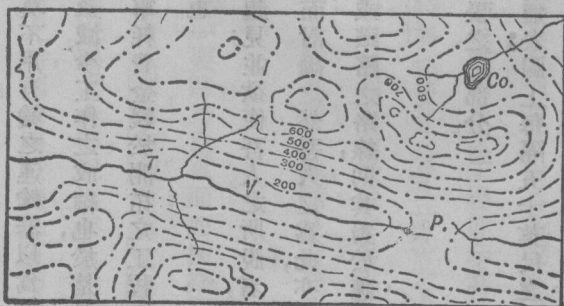
地之最高部分，如蘇格蘭之高地然；即在彼等聯成山彙之時，亦並無可注目之線脈也。凡危崖之參差不齊之邊，自低處望之，或可似一山脈，因而有引起謬誤之解釋，譬如非洲及澳洲之高原崖岸之邊，恆有被人誤稱爲山脈也。（八十四圖）至一地之特性，若有一帶山脈所襯出之時，最易爲人察得，若在山彙之地，則並不如此顯露焉。兩山中間陷下之地，謂之孔道或馬鞍嶺（以其形而名）在山嶺叢壘之領土內，此項孔道實足以操縱交通要道之路線。如在地形較低之土地，則此種陷下之地名爲山凹，乃爲尋常用以指崖岸裂處之名稱也。山凹及孔道可視爲兩谷之巔之會合處；此兩谷大抵皆處於同一界線之內，惟其趨向，各相背耳。其他附屬及較爲熟知之名稱，則多以此章內之圖解釋明之，學者宜熟習圖解上所示之各項地形而鑒定附近田野間類似之地形以資練習焉。

低於海平面之深度，係用等高線以指示之，但在英國則其深度之單位，多用尋而不用尺。至大陸地圖及純然供科學上所用之地圖，則大都用密達爲單位；關於此點在論水道圖之一章內，自有詳論以討論之，惟在此處亦不妨略述彼海底陸地伸展之情形也。環繞海濱之處，其地面即向水深之處漸漸下降，直至約有百尋之深度而後止。過此以往，則海底之斜面，即較爲峻削，海底之在等深線一百尋以上而環繞陸地之一部分，稱爲大陸之邊緣，或稱爲平臺，而其上仍附有陸地之形態焉。此種大陸之邊緣有時頗爲廣闊，例如環繞英國海岸者是也；但有時又較爲狹窄，如彼連於西班牙海岸及太平洋海岸之大部分者是也。至大陸邊緣之關係，亦頗爲重要，一因海岸線之形狀係全視邊緣之性質而變遷者；二因大規模之捕魚事業皆在邊緣上面之淺水中舉行者；因此之故，北海一處，遂成爲捕魚事業之薈萃處，蓋其全部，幾皆爲大陸邊緣也。地圖之涉及海岸者，至少必附帶邊緣之一部分。溪谷伸展至

大陸邊緣上而成之灣，則名為海灣，此種海灣，略似漏卮形，漸向外而其形漸闊，水亦漸深。如灣水甚深，而並無沙灘，且係位置於已有居民及商務往來之地，則此種海灣，實為重要之港口也。夾於峭壁間之海灣且其中水甚深者，則稱峽江。蓋海灣為淹沒之溪谷，而峽江乃淹沒之凹溝也。（圖八十五八十六）峽江於高海岸見之，如在挪威（Norway）之西岸，及蘇格蘭沿岸是也。海岸線並非亙古不變者，因在現今水升最高之標記之上，吾人常見有一帶背托峭壁之平臺，頗似現在沿岸之峭壁，而尤以在多山之地為更易見；此即可以代表水勢衝激所留之痕跡，足證昔日水升處較現今為高也。此種平臺，即所稱為升高海灘，於蘇格蘭及愛爾蘭海濱常見之，且頗視為重要之區域。因在此種崎嶇不平之領土內，僅有此種平臺，足供墾植及殖民之用也。一國之交通線脈，在研究地圖中，頗為重要；一因其對於自身之關係，既非細小，又因此項線脈乃隨地形之起伏而規定者，故於研究地形之起伏，頗多借助焉。此節於內



第八十五圖



八十六圖

凹名(T.V.)通路P山側之凹所或圓形之峭谷及湖Co

地轉運章內，當更詳細討論之，此處僅提道路與鐵路皆循最平易之路線斜過河脈，而緩緩上山越谷，並利用山凹與孔道以穿越山叢而已。此事入於近代以來，益可使人注意，蓋近代各項運輸莫不用有輪之運輸器以爲之，而運輸之方法，亦必日求其便捷；因陡削之山之足以阻滯速率也，加增燃料之消耗，及減少工作之成績也，於是又從事於建築新路，改良舊路，將其舊路不平者，墊補之，鏟鑿之，務使之平坦而後已，又寧耗費金錢於開拓之工程中，及用以建築迂迴之道路，或鐵路等等，而不謀取近路以與彼陡削之山坡相掙扎也。

茲爲例舉研讀地圖之方法，及由此中可以求得之知識之種類，及其多寡起見，並欲使吾人之所說者，得以融會而擴大之，則吾人可取英國參謀部測量局所製不同樣之一英寸地圖兩紙而討論之。然吾人之爲此，亦並無如何特別之宗旨，惟學者於用一地圖時，若抱有一定之目的，譬如欲規劃一新路，或鐵路之路線，則其對於應採何種之態度，卽易自行決擇矣。

(一) 薩里斯布利平原之專張，包括第一二二張，及一一一，一一二，一二一，一二二張之一部分。

此圖爲求清晰起見，故用彩色印成。圖之下端之空白處，附一通用標記之短表；圖上每隔五十英尺之處，又繪有等高線焉。其他如三角點，地方高度，及測量留存之標記，皆應有盡有，惟於山谷之深淺色，則獨付缺如。至斜面之傾斜勢，須由等高線間之距離以推得之。又此圖分成每邊二英里之方格，並排列成行，每橫行用一字母以辨別之，若爲直行，則用數字以代之，此蓋爲參考便利起見也。譬如吾人稱莫梯斯豐 (Motisfont) 村爲 K 15，卽在橫行爲 K，直行爲十五之方格內。此方格之制度，在科學上之名稱，卽謂之格子，而不可與地圖之經緯網線相混雜。格子

之界線，係與地圖之邊或邊線相並行，非爲正南北正東西，而略偏右方，祇須一觀刻於地圖空格中之經緯度之比例尺度，即可見也。是圖約爲二十二英寸乘三十三英寸，故所有之面積乃爲七二六方哩也。

陸地之位置，略高於海平面，而以北部爲最高（七百英尺以上）南部爲最低（山地約五百英尺）西部則較東部爲高，惟向西南隅，其陸地之位置，又復上升焉。然就大體而論，則一平坦之斜坡，雖須經過山谷，仍係向南而東者；惟較長之河流，則其方向，大都流向南方及東方也。其尋常較高之水平面，則恆爲帶有河流之山谷所截斷，而會合於薩利斯布利，如其地面，頗現參差之狀，則其地卽謂之沙墩地；且其上有石灰礦，及製白堊之工場，卽示其地有石灰岩也。大凡一切山谷，皆不甚勻整，其在南面，大都現有峻阪或危崖（例如那特河（River Nadder）之山谷，）除有主要之河流外，則鮮有活水之河；其在沙墩之中央，則頗多不帶河流之山谷。（此爲石灰岩地之特點，其水往往皆在地下流行者。）其他之樹林，則皆散小而叢生，在高地之處，亦無多少田場；大約此種土地，謹足資磽薄之牧場，而牧場上之牲畜，亦大都僅有羊羣耳。

大路之建築，皆循主要之山谷而爲之，或沿山谷以至高地而通過沙墩焉。有一要路，乃自東而西橫穿圖之中心者；然亦須憑一帶低地而利用附屬之小山谷也。又有二優良之路，循低地向北，由薩利斯布利而至第維賽斯（Devises）。另有一路，則與上述之二路相並行，且適經過該兩路中間之沙墩；然此路之大部，現因年久失修，早不爲人所注意。至何以不爲人注意，則其理亦甚明顯；蓋在昔日交通遲滯，汽車未興之時，則山路較短，已可滿意矣，至其偏西之路，雖較中路爲遠，然平坦則過之，且爲近年所改築者，故中路之繁盛，遂爲所奪。再此圖上頗多羅馬式道

路，若與新式道路相比較，實頗饒興趣。例如自索爾皮奧特能 (Sorsio Innum) 或古賽倫 (Sarum)，或玻特匯 (Part Wat) 之西部，稍稍而北；又由上述之地而趨至東北方，及最近續築一段較新之路，及倫敦與西南鐵路，(僅祇一段) 皆爲新式道路也。至羅馬式之道路，係在山上直上直下者，因有斜坡之故，遂使用有輪之轉運器者，頗感困難，若步行之軍隊，則毫不爲意，且以爲猶勝於因平坦而繞遠道也。鐵道則皆在圖之南部，亦如道路之順溪谷而築，且亦羣趨而會合於薩利斯布利焉。

是圖所載，關係人類佔據斯土之遺跡，頗爲豐富；如古物坵墟墳墓等，不可勝數，皆爲未有歷史以前之上古人民所建立者。其長形之坵墟，尤爲人所注意；又有所謂供奉神佛之遺址，圓形之土器，或土製之環，以及土器之與歷史上之古不列顛族，羅馬式道路，及殖民地有關者；且有許多中古時代已毀之城堡，及著名之古賽倫，亦載明其上。由此可知此地乃爲英國最先占有各地中之一地，而其人類歷史已綿延甚久矣。及至近世，其勢已衰替；蓋在地圖上並不見有其他實業之跡兆，僅約略見山谷中之農田，及沙墩上之牧羊草地耳。至著名之城，僅有一薩利斯布利，然就吾人所知者，此亦爲一市鎮及天主教之區域；至鄉鎮與村落，則祇能於山谷中見之，而沙墩上所見者，亦惟有軍隊之營幕而已。

(二) 參謀部測量局之蘇格蘭圖，鄂濱 (Oban) 第四十五張，乃係彩色印者。

此圖用彩色印成，其等高線之間隔，爲五十英尺一百英尺一千英尺以下，爲每一百英尺一間隔，一千英尺以上，則爲每二百五十英尺一間隔，其影線則以棕色表示之，不用地圖之網線，亦不標明其經緯度；至格子則與上圖

所用者無異，惟祇標明於其邊際而已。格子之南北向及邊線，其北面約偏西一度，南面則偏東一度，並在東邊沿邊際之上端，而標明指南針之北方及其緯度焉。

此圖之與薩利斯布利圖不同者，則以此圖所示者，乃一東部多山之崎嶇地面，及海岸線之一部分，且其紙上復載有同一土地而具有兩種特性者，其邊界爲烏海股 (Loch Awe)，其又股則入白蘭特 (Pass of Brander) 峽，及格林賽勒黑 (Cleann Salach) 之航線。東部地形較高，愈覺崎嶇而無秩序；西部之低地，則有自東北至西南之路脈，於是吾人即可斷定此兩圖之土地，其基礎乃斬然不同也。（試一研究地質學地圖，即能顯出其不同之點；因地質學家能由地形地圖中一望而知此兩種土地之地質乃各異也。）此圖上有路線數支，甚爲顯著；第一即上述之東北至西南之線，其所表示之最清晰者，乃爲圖上西北部之海岸島嶼，及半島之形狀，及其次序。然其圖上，亦載有他處之山谷、海股，及淡水灣之次序。如斯特拉谷 (Glen Strae)，上厄替甫 (Upper Loch Eive) 灣，非與幹 (Feochan)，及奈爾 (Nell) 灣、烏灣 等是。第二路：則自北西北至南東南爲白蘭特，及烏灣 之支股，中厄替甫灣，下格里倫 (Soch Cieran) 灣也。其第三路：則自西至東，不如上述兩路之顯著；然亦可因斯卡瑪岱兒 (Scamadale) 灣及下厄替甫灣 而辨其路脈也。此三者，乃土地之基本路脈；而第一路即最顯著最重要之一路，在普通蘇格蘭圖 上視之，頗爲清晰。此路包有大山谷之脈 (喀利多尼亞 Caledonian Canal 運河) 高地及南高原之邊境，暨中部山谷與斯特刺司摩 (Strathmore)，以及東岸之寬廣處，或許多長而且狹之沿海，及內地之海股。學者宜循此方向計取其一帶山峯之高度，並將其與此方向成爲直角之山峯，列成一表，然後將其地之總傾斜勢，自行計算之。

學者所欲知之第二步，則爲海股與山谷之性質；海股無論在沿海，或深入地中者，其形皆長而狹，其岸皆爲直線，而轉折處作銳角，大都爲從總線脈之一系轉入另一系者；關於此點，尤以厄替甫海股爲最明顯也。更一詳考水底等高線或等深線，即可察得沿海海股之在內地處，較其近口處爲深，而不相聯屬之盆地，則恆以較淺之沙灘或沙礁以界之，此實峽江之特性，而此等海股，亦爲眞峽江也。至於山谷，亦多具有此種特點；大抵皆有平坦之斜坡，且間有變成數個小湖連成一線者，如海平面略升高幾分（多少）則非與幹海股，及奈爾海股將合而爲一，而其現今所佔之地位上，將現出一較深之內盆地，恰與厄替甫海股之盆地相彷彿焉。又谷旁之斜坡，其形狀乃係圓而凸者，而此種形狀，半實由於圖中一千英尺以上等高線之間隔改動之故，使圓凸之形，較實際愈形張大。及至頂際，則谷壁之坦坡，卽突變而爲峻削，其結果乃在山側成爲一半圓形之劇場狀之地形，地圖上之名稱，謂之古瓦（Coire），卽吾人所謂圓形山谷也，此種山谷，可將大山分爲無數之山脊，及橫嶺（例如彭克魯根羣 Ben Cruachan 山是也）而兩谷之巔，或由相對之方向相遇而成爲不聯屬之山峯。有時兩谷之巔亦有相遇於較低之水平面處，而成爲馬鞍山之形，（葛林賽勒黑山脈及挪亞（Noe）谷與好葉（Mhoille）谷）且開有一山路，以爲穿山之交通焉。又凡種種圓形及似槽形之溪谷橫截面，以及其他之地形，在自然地理家觀之，卽可想到流冰之行動矣。又有一種懸谷，如附屬於白蘭特之山隘者，亦可使彼見之而推想昔日之曾經流冰之剝蝕也。愛爾託克魯根（Allt Cruachan），及愛爾託白蘭特（Allt Brander），均由圓形山谷之峻削部分流過其平坦之底部，然後再由山隘陡削之部分沖下而成爲飛瀑；大凡兩旁連有支流之溪水，在水流會合之處，則其水平面，大都相同，而其傾斜之率亦

彷彿與總溪水相等。但在此地，則分溪谷之口，反在總溪谷之上，而其支流遂由谷口之處而溢流於巉岩之邊際矣。此項分溪谷，即謂之倒懸之溪谷；而其總溪谷，則已成爲過深之溪谷。在此圖上，多數之大溪谷，皆屬過深之谷，往往多爲古時之冰河所成。此項冰河，積有大宗之沙泥石塊，而成爲一種小丘，雖小而又低，不能於一英寸地圖上表出之，但各小河之水則多注入於此種小丘中之窪地焉。此種窪地，有天然乾涸，及爲泥炭增漲而迂塞者，而愛耐克利（Achnacree）之澤地，及如在米爾路雅（Meal an Laoigh）之池沼，或可爲僅存之遺跡矣，至此項天然乾涸之奇事，如彼來爾池（Loch an Lair）者，往往皆爲冰河之渣滓所擁塞之故也。

對於面積有重大關係者，乃爲圍繞海岸大陸邊緣，此種大陸邊緣可詳察其等高線而察覺之。至詳察等高線之法，祇須將其截面繪出，即頗易研究，因山側之峻阪，在海面上五十尺及一百尺之處，多有上升沙灘，此種上升沙灘，乃爲蘇格蘭沿海一帶所常有；而於下厄替甫海灣及其他之處，皆顯有此種現象焉，且彼等所在地多建有房屋，市鎮叢集於其上，故易辨認。

圖中林木甚稀，且係限於溪谷之低地，水灣之沿岸，以及近西之地陰蔽之處而已，大概較高之地，多爲荒地，較低之地，多爲灌木之牧場，則不難斷定也。即有林木，亦爲混雜不齊，或大半皆爲人工所造成者。

關於人生地理學，則有古物可以表明其地昔已有人佔據矣，因其地雖無前人之丘墟，如薩利斯布利圖上所見者，但亦有古時英國式之堡壘、石垣、暨克勒特（Celtic）族之教堂與界石以及近代之砲臺寺院等等，足以使吾人追想在西方高地之歷史中之奇事也。又如近代之住屋，及人類之工程，則皆在於低地，或近於低地之處，突入海

灣之三角洲，隆起之漲灘，以及山谷之平坦處。他若關於近代實業上之遺跡，則殊為稀少，僅限於牧羊小農圃及沿海之釣魚磯而已。至於武藝一事，亦為居民職業之一，可無疑義也。關於交通上則無論鐵路或道路，均不甚多，祇有鐵路一條，依深谷而至烏海灣，及海灣之沿岸，以至白蘭特之山路，並由其沿海岸處以至鄂濱及拜來曲立盧 (Ballachulish)，而其道路，亦皆循此路線也。其沿海一帶，則早已有居民，但皆賴有此路及其入海之交通，故能如此，亦無疑義也。因殖民地之能繁盛，大都皆在有交通之處，彼深遠之山谷中，則恆鮮有居室也。

第六章 航行圖之構造及其應用 (Chart: Their Construction and Use)

「航行圖」三字之意義，不僅限於航海家航行所用之地圖，但本章所論則指航海圖而言。其對於航海家之用處，則可分爲二大端焉：一可以呈示船行於汪洋大海中之航路，標明行船真正之航線，及記錄每日船行確切之行程，航行圖之用於此種目的者謂之航海圖；二可以爲船舶傍岸時之引導，使其得以免於危險，能使船舶確達於目的地，及得安然駛入於港中，航行圖之用於此種目的者，則謂之領港圖也，至其與尋常之地圖，彼此所差異之點雖亦甚多，而其最顯著者，則爲航行圖上所載陸地之詳細節目僅載其由海面所能見者，如天然之海岸線、顯著之岩石、小山（及其高度）以及普通可以供作目標，及引導航海家之天然地形及房屋等等是也。又用於航行圖中之符號之制度，與用於尋常地圖中者亦各有不同；航行圖之對於在陸地上之等高線，並不與尋常之地圖相同，其地面之起伏，僅用影線以表明之，蓋在航行圖中自有一組特別之符號，以爲指示海上之形勢，海水之深度，以及海底之情狀、浮標、燈塔，及其他與航海者有重要關係之事也。茲爲便利航海者起見，通常於水路圖之邊際，皆繪有由海面可見之重要目標、海港，以及海岸之概略，故航海者不難按圖索驥，一望而能確定其位置也。

繪圖法 (Projection)

普通所用繪畫航行圖之繪圖法，皆爲麥卡托 (Mercator) 繪圖法；至其理由則已於第三章中表明之矣；惟在航行圖之構造中，則其圖案，必以輻射繪圖法以繪畫之，所有角度及其距離等等通常皆須於此項工程中將其直接繪出而不用第四章所述之法，蓋吾人所見之距離，皆爲沿大圓圈而測量者，而在輻射繪圖法中，則其大圓圈乃爲直線也。

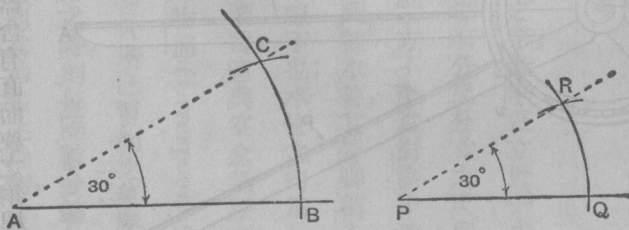
海上測量法 (marine surveying)

水路測量學之測量，乃爲產生航行圖之測量之稱謂也；在此項測量中，其初步之結構，乃用三角測量法以求得之，實與繪畫尋常之地圖並無少異，惟其多數之觀察，則由船上以測量之；至所用之儀器，則以經緯儀既因船身之移動而不能適用，故彼爲航海家較諗之六分儀，遂成爲一種最普通之測量儀器，然在近岸之處，亦有用經緯儀者，祇其所用之儀器，遠不如陸地測量家所用者之精細，故一般航海家多往往信用六分儀也。其測量之站，則設於沿岸之陸地，適與地形之測量無異；至其流動之標記，則以泊定之船舶，及其浮標爲標準，惟天文學之觀察，則利用極大，而其基線之測量，又因事實之逼迫，往往甚爲草率，故糾正三角點一事，反不如用天文學之工程之爲愈也。

繪三角於紙上，各測量家恆用繪弦法以爲之。蓋量角規線爲一粗陋之儀器，若用一通常之量角規，則其角度或可精密至半度或四分之一度，惟附有遊尺之特別量角規，則直可讀角度至一分之小，然此種量角規，在安置之時，殊難使之確切沿於一線耳；至繪弦之法，須根據於下列事實以爲之，卽在某指定之圓圈中，其中心角度既知而

後，則此角所含之弦即可求得；試由學者繪一大小合宜之圓圈，並任繪一半徑，然後自半徑之外端畫與半徑長度相等及等於半徑長度之半等於半徑長度四分之一之弦若干條，並將在圓圈中心之角之含此等弦者測量之，則學者即能察得此等角度，乃為六十度，二十九度，及十四度半也。在數學表中，並有一種弦表以示明與圓圈中心某角相對之弦，係為半徑幾分之幾焉。譬如吾人欲繪一四十八度二十分角，即該表則可示明其相當之弦，乃為半徑之 0.8188 ，如吾人決用一五吋長之半徑，則其弦之長度當為 4.094 吋矣。茲繪一五吋餘長之線並取一五吋長之半徑而畫一圓圈之弧，而其中心點則須約近於該線之一端，然後用兩脚規畫 4.094 吋長之弦以達於該弧之中心（仍參觀八十七圖）此時吾人即不能使 4.094 吋之弦，得免於較。○一吋更少之錯誤，換言之，即在角度上，難免有十分之錯誤。然吾人若使其半徑為二十吋，則其弦當為 16.376 吋，而○一吋之錯誤，即僅等於在角度上二分之錯誤，是以吾人欲畫角度則必須用彼圖紙上所能容最長之弦也。

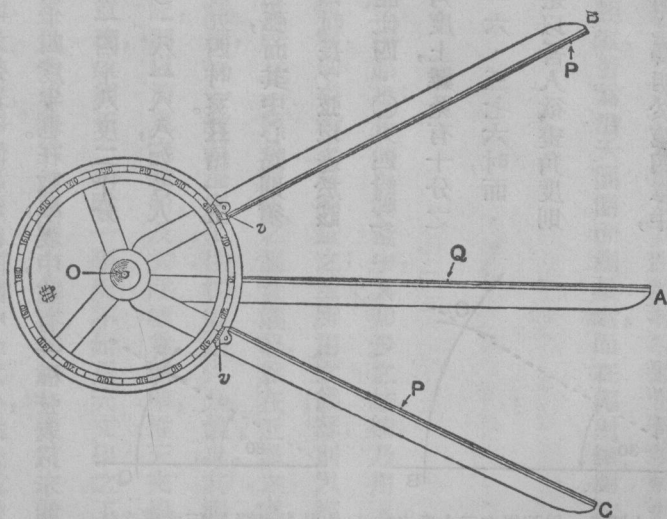
陸地之詳細圖形，及在海面規定位置之法，固已釋明於第四章中，可無吾人再述之必要，祇有其儀器即示點器之用於繪畫割切法由一



第八十七圖 用弦規定三十度之角法。由弦表中觀之，三十度之弦為五·一八，即為圓圈半徑之 0.518 倍。在半徑一吋半之圓圈中，則其弦為 0.78 吋 (BC)，在半徑一吋之圓圈中，則其弦為 0.52 吋 (QR)。在 A, P 兩處之角度皆為三十度，但在半徑十吋或十吋餘之圓圈中則所畫之角度更準確矣。

點所觀察之角度以規定彼測量圖樣中之各點者，尙待申述焉；此種示點器含有直而狹之銅桿三枚，長可一尺或尺餘，其一邊則平直如一界尺，在此三枚銅桿之中，其一係固定者，其他之兩枚，則皆於桿之一端，裝有樞紐，可以移動於一橫平面之中，該桿之上，附有遊尺，故對於所觀察之角，均能使之準確，至其角度，如已安好於該儀器之上，則在航行圖上，即須按照儀器上之用度，通過所觀察之三點，而使其樞紐之位置，亦可因而標記之焉。（見八十八圖）

當海岸線、岩石、浮標、燈塔、以及其他等物已用普通測量法測定之後，則尙有航行圖上所需要之其他知識，亦須有以求得之；其主要者，即爲關於海潮之事項，如潮漲潮落之時刻，春潮與小潮漲落之數目潮流之方向速度，及其存在之時間，以及水之深淺，尤其是近海岸之岩石、河岸、及淺灘處者，又有水底之性質，即海上所總稱爲測深者是也。至海潮



第八十八圖 實用之測點器。VV 兩遊尺固定於可移動之 BC 桿上，並附有在圖上並未畫出之寬緊螺旋焉。A 桿固定於圓圈上。P、Q、R 三點係在航行圖上，在此種點上可用六分儀以觀察角度，其船之位置則以在儀器中心之針孔 O 以代表之。（圈上度數劃作十度者則爲清晰起見也）

至海潮

之觀察，則在測量開始之時，即須從事進行，且往往皆由一種駐紮於最便利地點之特別測量隊以爲之，惟觀察之時期，則至少須二星期之久，因在此時間之內，必有一組春潮與一組小潮發現也，此種探水深淺之測量，亦必與他種工程同時舉行之。

海潮 (Tides)

海潮之觀察，可用一驗潮器以測量之，其最簡單之驗潮器，含有一垂直之竿，此竿豎立於一水底上，即在潮落之時，其底永不顯露，又此竿可以泊定或固定於一岩石或碼頭之處，其上并標有分尺分寸之尺度，或有以米突及十分之一米突計算者也，至此項驗潮器，則必須安置於有蔭蔽之處，庶其度數方不至爲海浪沖激而難於計算，如無此種蔭蔽之處，足資應用，則可用一與測潮器一樣安置之通水管以代之，此種水管，其管脚稍上之處，均刺有小孔，海中之水，即由此項小孔流入，惟其所刺之小孔，則須在最低海潮之水平線下也；水管之內，爲一量水表，表上有一指針，常與一鐵路上之水池中所用者無異，又另有一種驗潮器，其運用之要旨，適與空盒氣壓表相同，至其壓力之變化，則因海潮有起落之故也。又有更精美之驗潮器，如彼永久安置於利物浦 (Liverpool) 港口者，其內裝有一竿，可以將水高之紀載，連續書於一藏有鐘表機圓筒外面之紙上，(參看吾人所已習知之氣壓自計器之紀錄) 但彼格式最簡單之驗潮器，則須於每隔一小時前往一觀其度數，若在潮落之時，則每隔數分鐘即須前往一觀焉。凡在港口，其潮漲之時間，每日皆有變更，但亦爲有規則者，惟在每月之朔望，則其潮漲之時刻，皆係彼此相同也；此

種情形，不論在任何之港口，皆謂之港口之建設，並於水路上書明 H. W. F. H. C. 等字樣，（連同時間。）其 H. W. 即水高之意，其 F. H. C. 則為月之飽滿及變化，即朔望之意也。航海者即由此而知接續之高潮與低潮，均係每隔六時二十五分而一現，且可庶幾得悉每日潮漲潮落之時間矣，又在水路圖上亦曾示有最大潮水起落之數目，此即在春潮之時期，至於其他關於海潮之知識，則將於第九章中論之矣。

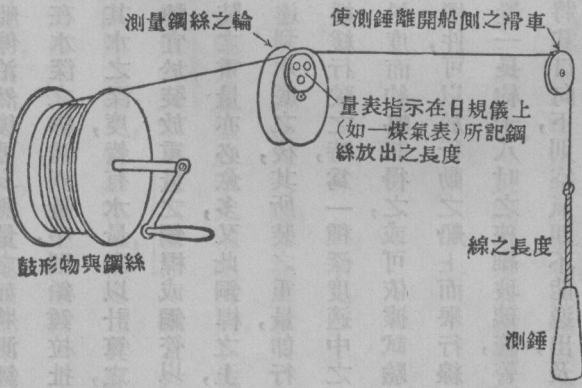
測深法 (sounding)

在淺水中之測深法，多由船上為之，其每一測點之位置，則用割切法或其他便利之法以確定之，大凡各測點通常皆須使之連成一線，故能置標記於岸上，以為船長之指導，使彼可以將其船置於該線之上，又單次之方位測量，必須用第二次方位測量以校對之，然後再固定其點焉。（參觀附錄第六第九章第九問題）人在船內須用一手中可握之線，此線含有粗線一段，上附一鉛錘，其錘之重量，則由七磅至十四磅不等，須依其線之長短而定之，鉛錘之底挖空如杯形，而以脂肪滿貯於其中，故當鉛錘與水底接觸之後，則其水底沉澱物之樣本即可黏附於此項貯於錘底之脂肪而帶上焉，又由鉛錘之底計算，約在每一尋之長度處，恆有極顯明之皮做或布做之標記結入於線中，故彼用測鉛之人，習知此項之標記，即能立知其水之深度，在線錘測量之時，彼測量之人，則立於船上，一手執末端繫有鉛錘之六尺長之線而揮動之，一手握有與前線相連之線一捲，其末端則牢繫於船上，然後倚向船邊將鉛錘前後揮動，愈揮愈速，於相當之時，將該錘放去使其落水之地點，遠在此人之前，一面再將線放鬆，則其錘即

能直入水底，然後乃將放鬆之線收起，俾船至該錘之垂直點上時，其線即可緊張而成垂直，至其線上之錘，則仍留於水底，如此時適有一七尋長之標記浮於水面，則彼即大聲呼曰，標記為七尋，（註二）使其入水之線，並不在於有尋標記之處，而其所估計之深度，卻為十二尋，則其人即呼「深度十二尋」至彼所估計之數，如為幾尋之半，或幾尋之四分之一，則其所呼之口號，則為九尋半，或六尋四分之一，大凡此種之線錘測量，多在淺水之中，當船在進港或出港時，由船上為之者，但此法如在近二十尋或過二十尋之水深處為之，即覺緩而費力矣。

深水處之線錘測量，多用測水深淺之機器，由船上測量之，此種機器，含有一鼓形之物，其上纏有細鋼絲，以供測量之用（八十九圖）此種鼓形物可用手或其一所纏繞之鋼絲力以轉動之，至其放出鋼絲之速率，則可憑自動制動機，而有一定之遲速焉；此鋼絲由鼓形物處經過一周線已知之滑輪，該輪所轉之次數，即為鋼絲放出之長度，至其轉動之次數，則用一串有齒之輪以計之，適如汽車或自由車之輪轉次數之有速率表以計算之，又其鋼絲放出之長度，則有指針以示明之，亦如彼汽車自由車上之示有行程也，又有一圓柱裝置於船之邊際，其鋼絲則

（註一）通常之標記，為二、三、五、七、十、十三、十五、十七、及二十尋。



第九十八圖

由一能展布於該圓柱之滑輪而穿過之。鋼絲之末端，附有尋常之線，以免鋼絲或有曲折及纏紐之弊，而此線即牢繫於一鉛錘之上者。若在準確之工程中，因欲使鋼絲成爲垂直，則必須將船停泊，然後可以測量之，如將測錘擲下，任將其鋼絲抽出，則見鋼絲鬆緩，即可表示此時之測錘，業已達於水底，如在水深之線錘測量中，則鉛錘拉扯之力稍寬，即足令自動制動機停止，彼鋼絲之流出焉，惟無論在水深水淺之處，其水之深度，皆有水量表以計算之，若深度甚深，竟有自一千至六千尋者，則彼測水之鉛錘，即不適用；必須易以一種宜於裝放重量之銅桿或銅管以代之，此項銅桿應裝之重量，則須以水之深淺爲標準焉，若水之深度愈深，則所裝之重量亦必愈多，又此銅桿之上，復附有特式之機件，可以汲取近底之水之範本，及計算其溫度焉；當此項銅桿達到水底之後，其所裝之重量，即行脫去，而留於水底，故於纏繞鋼絲之時，即可省卻工程而減少時間矣。倘在船隻緩緩行駛之時，爲一種深度適中之線錘測量，則其真正之深度，當量水表面上之度數已經紀錄，即可藉觀察鋼絲之斜度而約略記得之，或可依據試驗結果而鋼絲斜度錯誤之更正，亦可用之以計算深度也。現在且有一種奇巧之機件，可以於行動之船上而舉行線錘測量者，業經爲晚近之克爾文 (Kelvin) 貴爵所發明，即在測量之銅桿中置一長約十八吋之狹細玻璃管，管之一端係爲封沒者，管內則鑲有銀溴紅一層，該管既如此狹細，故下水之時，若將其口向下，則空氣即不能逸出，及至水中，則因壓力之增加，水即漸漸升入管中，於是海水中之鹽，即將管中之銀溴紅變成一種白色之綠化物，而其水之深度，祇須於該管提到水面之時，一量彼刻有度數以示水之深度之比例尺，即可得之，而此項水之深度，即係其水灌入管中之距離，爲彼紅色內層變成白色之處，蓋此種深度並不依放出鋼絲之長度爲標準，但祇憑彼高出管口

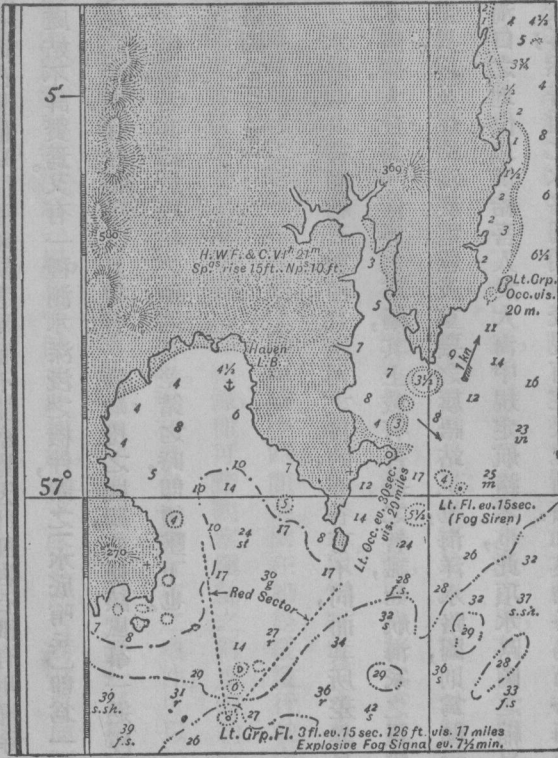
之水深而定也。此種機器之上，亦附有一指針，通常記取一般測深之法，皆係在此項指針上一計其放出鋼絲之長度，及記錄其離開線錘之角度而已；惟在有一定之間隔時間，尋常皆須用一玻璃管以爲該工程上之校對耳。至沉沒於水中之岩石，則在測量時往往頗易遺漏而不能察覺，因此種岩石祇有用掃除之法，始可探得，正如交戰時之掃除地雷然，此處姑不詳贅焉。又有一種測水深淺之機件，謂之「水底哨兵」即爲一種水底風箏也，此種風箏可以在水中某種選定之深處，徐徐拖曳之，且帶有一種顛覆之機關，能使該風箏一遇障礙，可以脫去達於拖繩之一線，翻至水面，正如一紙鳶，若其結於線結之繩，遇有差錯之時，即須墜下也。

航行路圖 (charts)

回溯真正之水路圖，其種類約有數種，且應用之目的，亦各有不同，而其所差異最大之處，即在於縮尺之大小不一也；世界之水路圖，大致爲一世界之草圖，其上載有普通之智識，如航海家之羅盤所示之南北方向，與彼真正之南北方向之差異，以及煤站海底電線及重要之旗語站是也，海洋水路圖，則爲顯示如北大西洋一類之大洋面積，表現重要海口之地位，以供給吾人於大海中規定航路者也，此項水路圖之縮尺，仍屬甚小，惟較之世界水路圖之縮尺，則略大耳；然普通之水路圖用以表現有定限之面積，如英倫各島西方海面之部分，則係用較大之縮尺者，（九十圖）此項縮尺，大概可達三英寸等於一英里之大，但按照畫圖之法，則此項縮尺，在彼地圖上不同部分，及不同之方向中當然略有變動也，此種水路圖對於海面及陸地之細情，載之頗詳，凡在沿海岸之航行，及由海

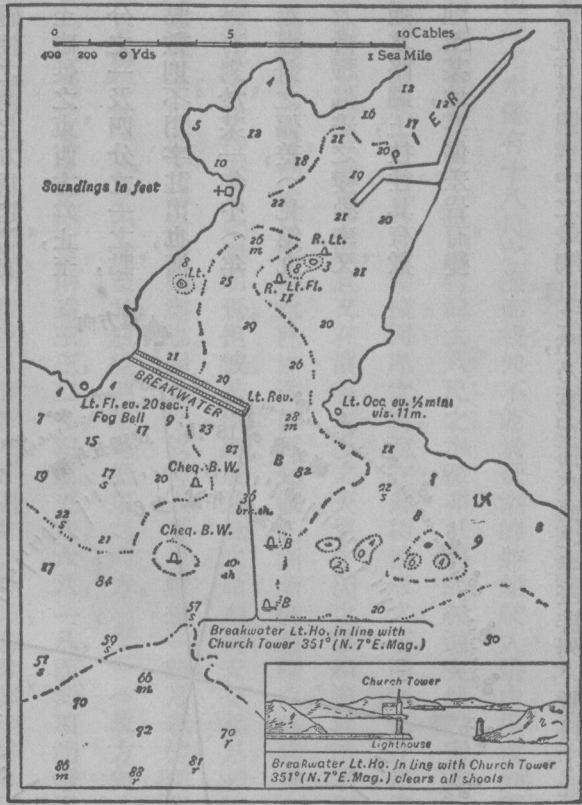
洋駛近陸地之航行多用之，此項水路圖，或在其邊際載有各種之草圖，如陸地之細目，次要海港之大縮尺之圖樣，以及天氣惡劣時可以作為船舶之隱避所者，最後且載有尺度更為較大，情節更為詳細之海港圖樣焉。（九十一

圖）至此種航行圖之縮尺，則恆視其地方之重要及地勢複雜與否而各有不同，但尋常所用者皆為六吋至十吋等於一英里之尺度，又一含有大面積之航行圖，往往不能有一定之縮尺，（見第三章）其可以用於此項地圖之



第九十圖 航行圖之一角，經緯度之分秒四邊均有。

惟一縮尺，則爲在地圖邊際之經緯線尺度，因其上分有可實用之分度也，但如各港口之小面積圖樣，其距離則仍用尋常之縮尺，且不論在於何處皆可以此項縮尺以測量之，而在不論任何之方向，亦可用之也，又在此項圖樣中



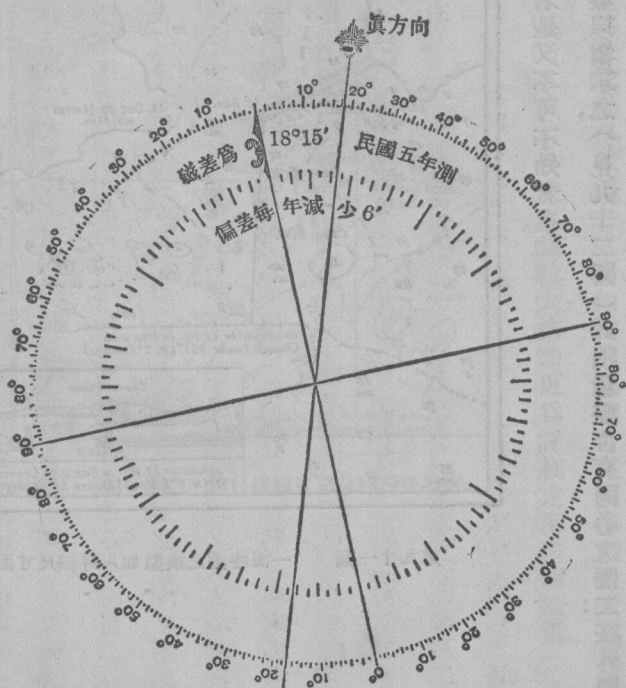
第九十一圖 一海港圖之模型加入詳細尺寸而縮小者

其線錘之測量，係以尺計算而非以尋計算者，是又不可不知者也。

水路圖上之方向，皆有刻在圖上之羅盤以指示之，（見九十二圖）此項羅盤含有同心之圈二：在外圈者則

有一星針以指示真正之方向；其磁性之北方，則有在內圈之箭針或荷花針以指示之，外圈刻有度數，以磁性之南北方為起點，依次刻至九十度以至磁性之東西方為止，至其內圈則刻有二分之一及四分之一之點，（磁性的）惟此項點數則不用字註出也。橫過磁性之南北線，書有對於某一年中（年分已經註出）之羅盤針之偏差，（見第九章第二三六頁）及此種偏差之變動率，又在每一海洋或普通水路圖上，往往具有數種之羅盤，因由某地至某地，其偏差皆有變動也。

普通航行圖或航行草圖樣中之最觸目之點，乃為密佈水面之參差排列之數目字，此即為水之深度，亦即為書於測錘達點所指之處之數目字也，在淺水之部分及近於危險之處，此種測錘達點，星羅棋佈，竟多至僅能辨識其字而已，至其數目字，則為指示在每點處最淺之水，即為春潮潮落時之深度，又數目字之帶有字母者，則係指示



第九十二圖 水路圖之羅盤

水底之現象，故 47 f. s. 卽爲在春潮潮落時該點處之水可有四十七尋，而其底部，則爲細沙也。至其所用符號之意義，則皆列於航行圖之邊際，測錘達點，對於航海家之用處，約有兩大端：假使一船主欲將其吃水二十二尺之船，駛進一小海港中，而在此港之前面，則有一沙灘，其水之深度爲測錘達點所指示者，爲 4, 3, 3 $\frac{1}{2}$, 3, 4 $\frac{1}{2}$ 尋，則在春潮潮落時其掩過河岸之水，僅有十八尺之深，而彼卽不能於低潮時將船駛入港中，但彼知潮水之漲，可達十二尺，故在潮漲之時，彼至少亦可得水三十尺，則再減去八尺之水深亦可將船駛進矣。然假定其時適有大浪，則其船於經過該海道時，若係行於浪花之中，必致有碰撞河岸之虞，而在此種情形之下，卽無充分之安全地位可以任其將船駛入焉。又假定一船係在傍近陸地之處，且又在濃霧瀰漫之天氣中，因之該船遂無法以測定其位置，則此時之船主，卽須頻頻從事線錘之測量，如彼已察得水已漸淺，卽可知彼已漸漸駛進陸地，或有危險之處，卽須將船首向風而阻其進行，或拋錨停泊，以待天氣之清明焉。但彼若係處於迎風之岸，則爲安全起見，必須將船駛入於海中，然彼若爲熟悉沿岸之情狀者，則亦不妨徐徐前進也。因此之故，吾人可以懸想一船，乃環繞愛爾蘭北部，而駛入於愛爾蘭之海峽，（註一）且復行於大霧之中者，至其航線則略偏於東之南方，（註二）（眞方向）速度爲十海里，線錘之測量，則每隔半小時一爲之，其水之深度，則爲三三，二九，四二，五八，六八，一八，而此項測錘遠點之距離，乃係爲彼此相隔五海里者，則其最後水量之驟淺，卽可使吾人驚駭矣；於是船之速度，卽須減至非常遲緩，而線錘之測量，則須

（註一）此可於 A 字一八二號愛爾蘭海峽之航行圖中察得之。

（註二）眞正之方向又稱地理學上之方向與磁性方向或羅盤之方向不同。

屢屢爲之，如此時之水量，仍爲逐漸低淺者，則吾人即可憑線錘測量之現象，而斷定該船已駛近於中沙洲之危險海底處矣，此時即須一面將船停泊，一面再將船上之小船，放入水中，並於該船之上，繼續從事於線錘之測量，以爲探索航路之用，此時若爲天氣晴朗，然後再將大船試向水量較深之方面駛去，茲姑假定其爲西南方，則行駛半小時之後，即可將其航線改向東南東之方向而漸前進，當無若何危險焉。至船之位置，吾人當亦知其約在二十或三十英里之內，因有一種推測船之地位法，（見第九章二四二頁）或駛於羅盤航線上之對數距離，時時可以遵守也。又船之位置欲求其更爲準確，則可用線錘測量法以測量之，茲假定其第一次之測錘達點爲五十一51，然後可在航行圖中所假定之船位附近處以求一與彼測錘達點相似之點，若能求得即可將此項假定之說證明之矣。但僅憑一次之線錘測量，亦殊難以徵信，必須每一英里以測量之，意即船之速度，若爲十海里，則必須於每六分鐘一爲之也，如此項測錘達點能與水路圖上所假定之船行處附近之各點相脗合，則其假定，即可視爲準確矣。

海軍部之海道測量局，對於各重要之地所測之測錘達點，實遠出於其航行圖上所表示之數也。凡在航行圖上其測錘達點彼此相隔之距離，不能較小於五分之一吋，若航行圖之縮尺爲三吋等於一英里，則此五分之一吋，即天然等於一百碼矣。然航行圖上之所示者僅爲此一百碼任何一端之深度，而對於其中間之情形，則並無所知，故航海者不可以爲在測錘達點之處，若無危險，則在其中間亦可無危險也。茲不以海岸爲清明可行，則其航行之方向，必須預先設定之，若其沿岸已知爲污穢所阻者，則不在此例矣。但當測錘達點乃爲緊相連接，甚而較航行圖所能示者，更爲接近，且爲航行所依賴之時，則必須按照海軍部所公布之特別圖內所示之一種有規則之符號，而

將等高線或等深線繪入於航行圖中矣。

潮汛 (tidal information)

潮汛包括「H、W、F、及C、」大潮無風時之高潮暨海口及海港之M、L、W、SP、(平均之春潮低潮)與H、W、SP、及H、W、NP、(春潮及小潮之高潮)間之水平差。至在海峽及海灣中之箭形標記，乃為表示大小潮流流水之方向者，而在此項箭形標記上則恆書有以海里計算之潮流速度焉。又在多數地方，其進海岸之高潮及低潮之發生，與海峽中離海岸潮流之開始，其間間隔之時間，亦須記下也。

燈塔 (lights)

燈塔及水路標之置於海濱之顯著處，及危險處，或岩石上者，多示明於圖中，惟一切燈塔，亦不能完全於此種地方求得之，尤須將其安置於一種地方，足使各航海家得賴此以測定其船之位置，於是彼乃可知何處為危險之區而避免之，並可預定或改正其航路焉。又燈塔與水路標往往皆用作固定之點，而船之位置即可由此點用六分儀或測點器以割切之。

若一燈塔祇於某一定之面積中始可見之，則此弧三角形物，必須顯示於航行圖中，又有幾種燈塔，於船在某種地位之時，則表現一種白色，若船在有危險及他種地位之時，則又表現一種紅色，凡此種能見紅色之弧三角形

地面，亦須於航行圖中將其表現而記載之，有時一種天然之形勢，恆可掩蔽海岸燈塔之線路，若果如此，則此種情形，亦須將其示明於圖中，因其可供航海家在沿岸之行駛中一種有用之指導也。

燈塔之種類，大別爲二：卽守夜者及非守夜者，前一種屬於燈塔及燈船；後一種屬於帶有煤氣笛之水路標，其煤氣則須三月或半年，始一補充焉；至燈塔之性質，則有一批特別之通用符號以表示之，吾人對於構造燈塔之光學原理，雖不能詳爲論述，惟此項燈塔之構造，則必須使其燈光強烈而穩定，足以供其事實上之需要，並使其光線凝聚而成爲最有用之光線，此卽使其光線成一橫平面，庶由海平面及在遠處觀之，得能格外光明。惟最要者，燈塔之光，宜於夜間，使人易於辨別，是以每一燈塔，必有其特殊之性質，若兩燈塔之性質，人驟視之並無十分差別者，則非彼此之距離相隔甚遠，則從不設立也，著色之燈塔，非在必要時，則不多用，若事有可能，則僅在該燈塔不須使極遠之處，皆能望見之時，始一用之，因着色之燈罩，頗能減少光線之烈度，蓋由同一燈頭發出之光線，若用一紅罩罩之，則其光線之烈度，卽須減去一半，使爲綠罩，則亦須減少四分之一也；故爲辨別起見，則燈塔之光，可爲有色或可爲無色，其有色者，則爲光線縮減之表示也。燈塔又可分爲穩固、或固定、旋轉、閃電、及隱蝕等數種，固定之燈塔，其光穩定，係爲永久可見者，旋轉之燈塔，其光橫掃於天際，在航海家觀之，則當燈光轉向彼處之時，其光卽覺漸漸明亮及光射及其身，卽閃耀而奪目，惟光線掃過之後，其光亦遂漸漸沉落，不一時而完全不見矣；至閃電二字名詞之意義，卽可知其光之狀態爲何如；而隱蝕之意義，則其光大多數時可見，但間隔若干時熄滅一次，尙有數種燈塔，其隱蝕與閃電之光，爲易於區別起見，皆排列而成一組或一簇者，此種燈塔，卽謂之閃電組或隱蝕組之燈塔，是以在上

述之航行圖中，（愛爾蘭海峽）其在聖俾茲（St. Bees Head）之燈塔，乃爲每半分鐘一隱蝕者，意即每隔半分鐘，其光即須隱沒或不見一次也。在加羅威（Galloway）士角之燈塔，其光則爲發現十五秒而隱沒七秒半者，意即每隔十五秒鐘其光即須隱沒七秒半鐘也。又在康的爾（Canlyre）岬之燈塔，則每半分鐘而有一組閃電者，意即其光係爲組閃電，乃每隔半分鐘即發現一組之閃電，而在兩閃電之間，則爲黑暗無光也。惟此種種之燈塔，皆各有其特殊之性質，雖同在於附近之處，亦不至使人誤彼爲此也，又燈塔高出海面之高度，（指燈塔上燈罩之高度）亦既爲吾人所知矣。此實頗有價值，因航海家祇須一計該燈塔高出其身之角高度，即可知其身與燈塔之距離焉。又燈光之射程，即在一尋常清朗月明之夜，爲一立在高出海面十五尺之甲板上之人，可見燈塔之距離，亦已爲吾人所知，此則可爲證明之用，及當眼見燈光之時，用以指示船之位置，但一般燈塔，往往遠出於射程之外，亦可爲人所見，蓋一上等之燈塔，即當其在水平線之下，亦能因其光亮而見之，然遇一層薄霧，即可將其射程減短不少，若遇大霧，則竟可使一最明亮之燈光，成爲黯澹焉。

浮標 (buoys)

浮標者，爲浮動之標記，碇泊於河海之中，以指示海岔及通航之路，并表出航路中之危險者也；此項標記之區別，乃以其做法形狀及顏色爲標準，其在航行圖上則用有省略法以區別之，圓柱之浮標，乃爲一桅竿，豎立於一種形似琵琶桶之浮物上，而此琵琶桶，則係泊碇於水中者，其中填有壓艙之物，可使該桅竿得以保持其垂直之形狀，

至其他各式之浮標，則無描寫之必要焉。浮標之上，或可載有水路標，惟其上之豎立物，則不必定須發光者；此種水路標通常皆為深黑之色，無敷以雜色者，且附有圓柱或圓球，斜方形或三角形之水平標焉。又有某種顏色則專用於有限定之目的上者，是以綠色之浮標，則用以標誌非天然之障礙，如在船隻沉沒之處，則於綠色之浮標上，寫白色之字以誌之，如有海底電線之處，則用相似之浮標而標以電信之字樣，若有水雷之區域，則用畫有綠白色格子之浮標以圍繞之，至圓球式之浮標，則用以指示堤岸，而有條紋之浮標，則用以表示在海港及碇泊所之堤岸及水淺之處者也。又海盆亦須用浮標以誌之，故於船隻進港時，即可免於危險，若該海盆至海港之航路，並非為通航之路，則乘大潮之流而行駛之，亦可平安駛入也。惟該船之右舷（右手方面）則須有塗以純紅色之錐圓形浮標，有時此項浮標之上，且附有帶圓球之水平標，而圓球及水平標，其在船之左舷，則須有與右舷顏色不同一種全黑色之罐形或圓筒式之浮標，將其平頂顯出於水面，有時且附有鳥籠式或圓柱式之標焉。至一種泊碇之浮標，其圓筒之圓邊，恆露出於水面者，則不表現於水路圖中矣。

霧 (fog)

霧之一物，實為航海家最大之障礙，至霧中報警號，則與燈塔及浮標又有密切之關係者也；此種霧警，大都為汽角、號笛、警鐘、及具有爆發力之信號，至其性質，及特性，則皆可於航行圖中用簡略法以表明之。

安全之航路 (safe course)

在危險區域內，某種安全航路之指示，皆已載明於水路中；此項指示，往往皆用指導線以表示之，並選有兩種顯著之標識，謂之指導標識，若船隻遵守此種標識而行駛，則此項船隻，即駛於指導線上矣。上述之邊界圖，對於航海家覓取此種標識上實有莫大之用處，在所載之愛爾蘭海峽圖中，即可得有數種之例證，譬如丹德藍 (Dun-drum Bay) 海灣之東北，曾有一線，其上附有「林福特 (Ringford Point) 地角通至金斯島 (Guns Island) 可以免除各種沙洲」之字樣，意即凡船隻若能遵守在金斯島外，尚可望見林福特地角之航線而行駛之，則該船即可避免一切阻礙航路之沙洲，而由該方向駛入於海灣矣。

第九十圖實非一航行圖之真實樣本，蓋該圖僅一刪繁就簡之草圖，用以表示一種略去種種煩雜細節之水路圖之形狀者也；故學者對於此圖，必須連同符號表以研究之，然後求一愛爾蘭海峽之水路圖，（即用其他較易求得之水路圖亦可）將其細閱一過，並須記明在各國之水路圖中，雖多有一致相同之點，而此處所敘述者，乃指英國海軍部之航行圖，若在他圖中，則不無少許之差異也。

第七章 天氣與氣候 (Climate and Weather)

大氣 (atmosphere)

空氣者，乃一氣體之混合物也，其間主要之氣體，爲淡氣養氣（此二種成分極多）及雖少而極重要之二氧化碳，此外并有其他較爲希罕之氣體焉；空氣之中，亦含有一種變化不定之水蒸氣，此種水蒸氣之性質，不與其他各氣相同，且在各種不同之情形中，頗能增加或減少也。空氣既爲一種物質，故亦有重量，雖其密度或單位容量之質量甚爲尠少，然以重量而論，其壓於地球表面之壓力，計每平方吋之地約十五磅許，但空氣既爲氣體，則其壓力，即不僅下壓於地面，且亦向各方面發展也，是以任何一部之空氣，必旁壓別一鄰近部分之空氣，並上支停於該空氣上之空氣焉。大氣之氣壓，可用氣壓表以量之，此種氣壓不論在任何地方，皆時有變化，且在同一時間亦一處與一處不同也。空氣爲有壓縮力者，其容積之數目，恆視其氣壓爲標準（或以其所發之相等及相對之氣壓爲標準），氣壓減輕，則空氣容積增加，二者成反比例，蓋欲減輕氣壓，則空氣必須藉其所有之熱度而工作，故其空氣，即轉而爲較涼，若氣壓增加，則空氣容積減小，而與氣壓成反比例，蓋此時之壓力，必須作一種壓縮空氣之工作，此項工作化爲熱力，故其空氣，即轉而爲較熱矣，此即所謂無關熱力增減之空氣冷熱法 (adiabatic) (註1) 因既無熱力加

入於空氣中，亦無熱力由空氣中抽出也。又空氣受熱，則容積漲大，而密度亦必減少；若空氣受冷，則容積縮小而密度亦較重焉。大凡各種氣體在變動壓力及溫度下之性質，不難以波義耳 (Boyle) 及查理士 (Charles) 之定理總括之也。

高度變動之結果 (effect of change of altitude)

吾人升至海平面上，卻覺上面之空氣減少而其氣壓亦因而減輕矣；如在海平面之氣壓，係等於氣壓表中之水銀柱為三十吋，則其氣壓在高出海面九百呎，即須減至二十九吋，氣壓既低減，其密度亦遂減少，欲使氣壓再減一時，使成爲二十八吋，必須再升高九百三十呎而達於一千八百三十呎，如欲其氣壓減至二十七、二十六……吋，則其高度，非達二七九〇、三七九〇……等呎不可，大約高至一六〇〇呎，則其氣壓適等於在海平面之氣壓之半，即一半之空氣在上，一半之空氣在下也；若升至七哩之高，則其氣壓，即須減至海平面處之氣壓四分之一，如在十哩半之高，即須減至八分之一，如再升高，則亦可照此遞減；空氣氣壓低減之法雖如此，然吾人卻不能謂在某種高度之處其空氣即消滅也，惟至三十哩之高度，其氣壓僅十分之一吋，而其情狀即與在海平面者迥然不同矣。

由上述之說觀之，則一切高度亦可各地用一氣壓表及一種垂直氣壓之度數以計算之，在此種度數上其空

(註一) 在希臘文中之 α 爲不， $\tau\iota\alpha$ 爲經過， $\delta\alpha\tau\omicron\varsigma$ 爲可通過，故 $\alpha\tau\iota\lambda\alpha\beta\alpha\tau\iota\kappa\omicron$ 即拒熱之義，既不減熱亦不增熱也。

氣之氣壓乃按其高度而低降者，但爲欲得良好之結果起見，必須於觀察之起點處留一氣壓表，而不時計算之，俾氣壓因時間而發生之天然變化，亦得而察覺也。（參觀第四章第一二七頁）

在高空不但氣壓降低，即氣溫亦漸低減。若天氣乾燥，則溫度在近海平面處之低降率爲每三百尺，約降華氏表一度，但此種低降之率，此處與彼處即大有不同，對於空氣中水蒸氣之多寡，亦頗有重大之影響，且在較大之高度直至一萬呎，其低降之率，且比上述者爲大。過此以往，其降低之度數，則幾乎穩定不變，皆爲每三百英尺低降攝氏表一度，及至高度達於四萬呎或五萬呎或七英里至九英里，則全球之溫度，皆常在於華氏表零度下七十度左右，至此則溫度不再下降，因高至九英里以上則其溫度，即不再降，或竟有少許增加之傾向焉，所謂溫度逆增者即高度增加，而其溫度亦隨之而上升也。此層空氣謂之等溫層，乃近代所新發明者，至於空氣之動作及變化足使天氣發生不規則之變遷者，實祇限於下層，即近地面之九哩處也。

空氣中之變化 (changes in the atmosphere)

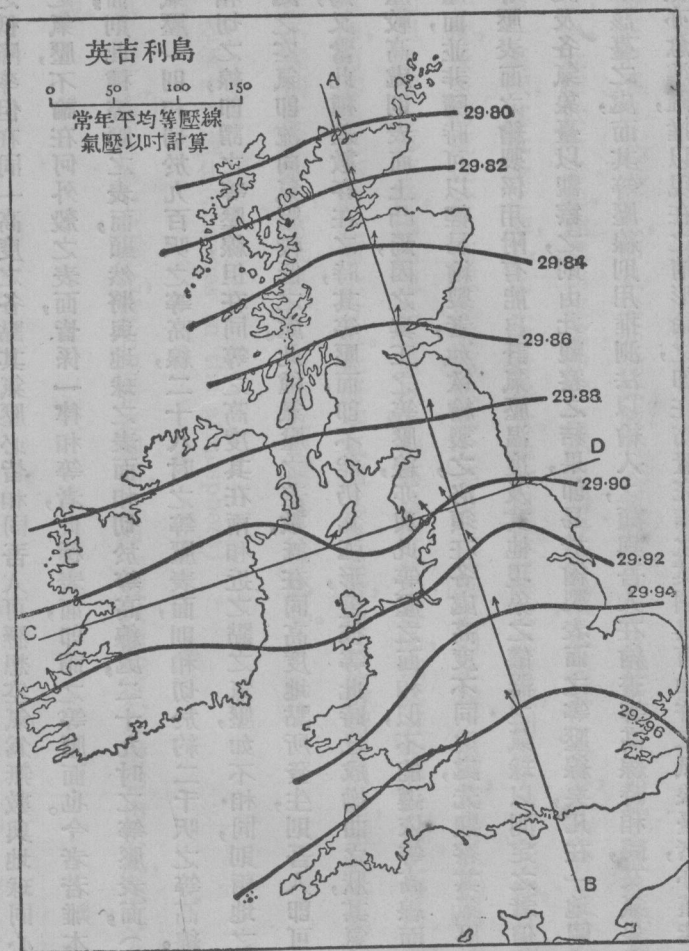
天氣之變化，與空氣中之變化，實有連帶之關係，普通一般以爲天氣之變動由於風，故吾人必須一究其起風之原委焉。

等壓面 (isobaric surfaces)

吾人可假定地球爲一光滑之皮球如前數章之所設想者，如空氣寧靜，則空氣之氣壓，必能按遞增之高度而有一定之低降率，但在同一高度之各點，其氣壓必皆相同，吾人可懸想空氣爲無數與地球同心之外殼所分，而使其空氣之氣壓，不論在何外殼之表面，皆係一律相等者，此種表面，即謂之等壓面也。今者若離本題而想及於地球之真表面，則此種等壓之表面，顯然將與地球之表面相切於等高線處，二十九吋之等壓表面，（三十吋乃爲海平面處之氣壓）則相切於九百呎之等高線，二十八吋之等壓表面，則相切於約二千呎之等高線，此種等壓面與地球表面相切之線，即謂之等壓線，但在同等之高度，其在兩相近之點之氣壓，如不相同，則兩地之間，即有不平衡，較高氣壓處之空氣即流向氣壓較低之處。此種氣壓之差數，既在同高度地點所發生，則吾人即可由此而推得起風之原因焉，又當此種差數存在之時，其等壓面，即不能仍爲弧形，蓋彼等此時已成拗曲之狀，其氣壓較低處則表面下凹，氣壓較高處則表面上凸焉，因之真正之等壓線，亦與此等壓之面相似，不能遵依等高線而不變也。

等壓面，並非隨時可以輕易繪製者，如欲繪製之，必須在各處高度不同之處，先觀察其氣壓焉，現在僅有少數之處，其等壓表面之繪製，係用附有能自計氣壓溫度及其他現象之儀器之氣球以測定之者，但其氣壓，若能在地面上各處及各氣象臺以觀察之，則由此觀察之結果，即易於繪製表面之等壓線矣，凡在一地圖上，將每氣象臺之氣壓，書於該臺之處，而其等壓線則用推測法以繪入之，頗與吾人在繪畫等高線時相同，又氣象臺之距離愈近，則其等壓線亦愈準確，惟以現在之情形論之，即在布置完備之英國具有如許之氣象臺者，亦僅能求得一氣壓分布之大意而已，吾人希望此種等壓線所能代表者，乃爲地平氣壓之坡度，即氣壓讀數在地面上任何方向一定距離

內所發生之變化率也，(註二) 至各氣象臺大都皆位置於高度不同地面上，有近海平面者，亦有在高地者，故因有



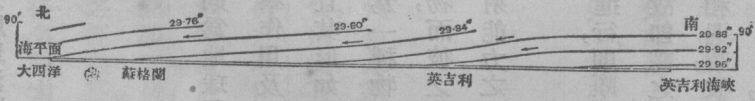
第九十三圖 每年平均之等壓線，氣壓以英寸計算。

高度之差，而遂有一種自然之氣壓差焉，吾人若欲在一處求得平面之氣壓差，則必須將此種自然氣壓差除去之，

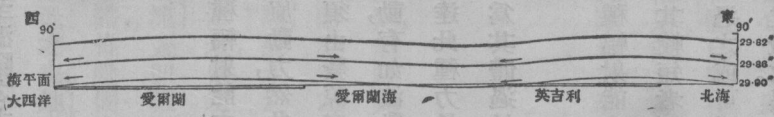
是以常尋之垂直氣壓度數即用以爲改正之用，而使在各處之氣壓平均改成海平面之氣壓也；譬如氣壓之在高出海平面四四〇六呎之貝尼維斯 (Ben Nevis) 爲二四·四七吋，則其在海平面之氣壓，將爲每九百呎而較高一時，故改至海平面之氣壓，即爲四·八九吋，而不繪入地圖上之氣壓，即爲二九·三六吋矣，是以繪在地圖上之等壓線，即爲真正等壓表面與想像之光圓地球所相切之線也，第九十四及九十五圖乃表示等壓表面之形式係沿第九十三圖上之 AB 及 CD 線而劃者，而其繪製之形狀，則觀於此圖即易做製矣，至風由高氣壓吹入低氣壓之方向，則皆用箭形以表示於兩圖之中。

然氣壓之差異，果何由而致之哉，則其理亦甚明顯，蓋氣壓既有關於空氣之重量，而空氣之重量，又有關於空氣之密度，是以變更氣

(註) 學者須將等高線之用意牢記之於心中，此種等高線在平面上，係以指示地
 平差及坡度者，等壓線亦然，乃指示氣壓之坡度，此種坡度，則爲風欲吹往之處也，且其最陡之坡度，既在每點上與等高線相切而成直角，是以最陡之氣壓坡度，亦與等壓線相切而成直角，又水欲沿地面上之河流線而流動，亦猶風之欲沿其等壓線而吹送也。



第九十四圖 沿九十三圖中 AB 線接近地面空氣九十尺之截面圖，其垂直之縮尺頗較橫平者爲大，並使等壓表面之坡度非常增大焉。



第九十五圖 沿九十三圖中 CD 線近地面空氣九十尺之截面圖，以指示英吉利島上等壓表面之屈曲狀。

壓即變更密度，而空氣溫暖，即可減少其密度，故吾人必須進而考察空氣之所以溫暖之問題焉，至溫暖之主動力，則當然而為太陽矣。

輻射能力 (radiant energy)

「輻射能力」係由太陽之中向各方面而發出者，其中有一小部分則為地球所接受焉；此種輻射能力射至地球之時，其顯然可為吾人所知者，則為光為熱，其不甚顯明者，則為有化學作用及電學作用之原動力，然此種力量之自身，則非熱非光，實為一種能力（此種能力之表現其變化甚多）且其形如輻射者，因其須由發源之地，而通過空處也，此種能力之動作，其為吾人所最知者，一若彼之行於空處，乃為一種物質微點之擺動，有如波動之動作。茲為便利起見，即假定其為如此，且假定其中必有一物質或一媒介物，而彼之微點，即為傳達此種力量者也；此項意想之媒介物，則謂之以太。吾人所知之以太，第一則為彼有傳導輻射能力之性質，第二則為其體過於輕微不易為吾人所覺察，且能透過尋常之物質，例如透光之物體者是矣。

此項波動或浪動，其長度頗多變化，但彼輻射能力，乃依光之速率而進行，則頗為一致也。此種輻射能力之效果，則視浪之長短而各異，彼較長之浪，當着於物質之時，即能使物質溫暖，故即謂之熱浪，或溫浪，其較短者則為產生光之現象之浪，但除此等浪之外，尚有更短之浪。凡各種浪與任何物體相遇時，彼等即完全通過之或可為該物所阻隔或吸收，又可折回，或反射而成一較大或較小之角度。但吾人之最感興趣者，為黑色熱浪之吸收。黑色之表

而其吸收輻射之程度，較之淡色者爲速，而粗陋之表面，亦較光滑者爲速，是以在日光之中，彼黑色之道路、屋頂、及岩石，雖溫暖甚速，而淡色或光滑之表面如玻璃、發亮之金屬品、及水等之表面，則仍寒冷也。凡物體已吸得輻射能力者，必能將其吸收之所得，仍射而出之，而其射出之浪長，且反增加焉。故地球由太陽中吸得輻射能力之後，亦能將其所吸得者，仍射而出之，成爲長浪動之黑光線也。又一切表面其吸收速者，其放射亦速，是以陸地之表面，在白日之中，較之海面，頗易於發熱，而於黑夜之間，亦易於寒冷也。

日光熱 (insolation)

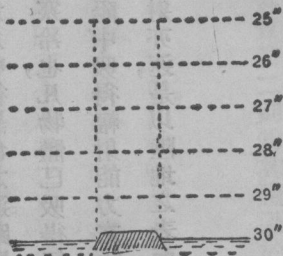
水、空氣、及地面上之岩石，對於太陽之輻射，或日光熱，皆各有不同之性質。水須吸取較多之熱，然後始能溫暖，其吸取之數，則較於任何他物爲多，故水之爲物，其比熱甚高，至地殼之物質，則僅有極低之比熱，而空氣之比熱，且尤較低焉。又水當溫暖之時，即蒸發甚速，而其所吸多量之熱，遂皆用於蒸發之工作中，而成爲潛熱，故水之溫度，反不能增多焉。此種蒸發，並不影響於地殼，亦不影響於空氣，惟有一部分之地殼，浸於水中，或爲卑濕者，則須略受影響耳。凡物體受熱之後，即須膨脹，而減少其密度，如爲流動之水及空氣，則熱漲之後，即須發生對流，蓋即輕而熱之，水或空氣上升，其冷者即流入而替代之也。此種對流，可以分送其熱量，使之經過空氣或水之全體，惟凝固之地球，乃爲堅硬之物，其所受之影響，則不如此，因水與空氣皆爲透光之體，故可任多數太陽之輻射通過之也。地球對於太陽之光線，呈有兩種之表面，即岩石（包括土壤）及水是也。前者受熱速而後者受熱慢，至其理由則已言之矣。

絕熱膨脹

吾人對於空氣之受熱，實有研究之必要，蓋空氣可任太陽之光線，完全通過之，而無所吸收也；大凡空氣一物，並不直接受熱，惟其最低一層，與地面直接接觸者，則因接觸地球溫暖之表面，而遂發熱焉；空氣受熱之後，即覺較輕，浮起而入其上之較冷空氣中矣，至海面上之空氣，其受熱之法，則不與此相同，此種空氣，當附近陸地上之熱空氣上升之後，即成海風，而流入於陸地以替代之，彼陸地上之空氣上升之後，則入於氣壓較稀之處，並漸漸漲開，然後又依照不關熱力增減之空氣冷熱法而冷下焉，此種冷下之率，為每上升一百八十尺，冷下華氏表一度，惟此種遞減率若較四周垂直溫度之遞減率為少，則其結果，該空氣乃升至極高之處，且將其經過之空氣由接觸而使溫暖焉。空氣之下層，又有無數微小之固體物質，即為塵埃，此種塵埃直接吸收太陽之輻射能力，並使之相接觸之空氣，亦皆成爲溫暖，此種塵埃，在陸地之上，較之在海面之上為多，又在較低之空氣中，亦較在較高之空氣中為多也。

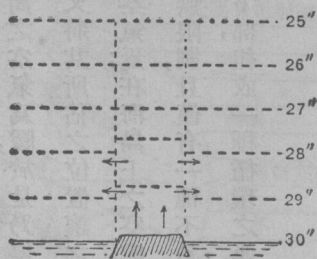
等壓面受日熱曝曬而坳曲 (warping of isobaric surfaces by insolation)

吾人現可假定大洋之中有一低矮之海島，並想像島上及其附近海面上之空氣，係爲與地球表面並行之等壓面分成層數者，其覆於島上之空氣，則有一意想之垂直界線以間隔之，第九十六圖所表示者，即爲此項空氣之垂直截面，其在

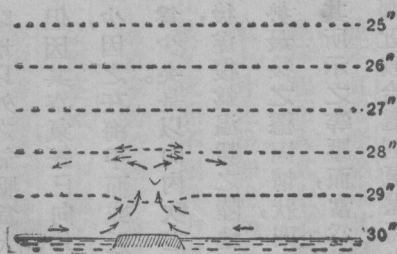


第九十六圖 空氣在寧靜之時

陸地及海面之空氣，且皆甚爲寧靜焉；於是乃任太陽之光線明照於該島之上，則彼覆於島上最下層之空氣，假定在等壓面二十九吋之下者，（氣壓在海平面者爲三十吋）即可因與陸地接觸而成溫暖並須向上膨漲，而使其他等壓面亦向上升。但此項空氣之上升，頗爲遲緩，因此在某種高度上之等壓面，必受下層等壓面之擁擠或壓迫也，此種情形，則表示於第九十七圖中。此時在二十八吋以上之等壓表面，即已受擁擠矣。茲爲簡易而明晰起見，吾人可假定其上升之範圍僅限於彼意想之垂直界線中，則觀於圖中即知陸地及海面上之氣壓，如在海平面處之時，仍爲三十吋，則在海平面上處其覆於陸地上之氣壓，即須較陸地以外之氣壓爲大，是以上層之風，即向外吹去，如圖中所示之箭形然，但因其空氣，既已向外，則在陸地上之空氣，現須較在鄰近之海面上者爲少，因之在海平面或近海平面之處，其氣壓之在界線內者，須較界線外者爲少矣。是以向內吹之空氣流，即由低地平面處而吹入，及與陸地接觸之後，遂復爲溫暖之陸地所溫暖，而漸漸向上膨漲，且按照前法而循環進行之，直至太陽之光照消滅而後已；此種形勢最後之穩固情狀，則表示於九十八圖中，在此圖中，其氣壓之平面變化，既天然不如九十七圖中所假設之驟，則其所示之等壓面，當爲微曲形而非紐纏之狀也。由此觀之，則吾人可知在海平面之處，凡表面溫暖者則氣壓低，而鄰近較冷處則氣壓高也。



第九十七圖 空氣在高處表現寧靜之情狀。中部向外吹。近地面處向上升。



第九十八圖 空氣在高處現寧靜之情狀。旋風在低空氣中完全成立之情狀，及對流在低空氣中之情狀。

而其垂直之空氣動作，亦皆有定限，但在海島之外，則其空氣下降之範圍，即無限制，且僅有一種不易表示之普通向下之趨勢而已。凡此種種空氣之行動，因彼此皆有關連之故，遂於空氣之下部，組成一種循環之運行，而此種事物之普通情狀，則可以旋風二字以指示之。

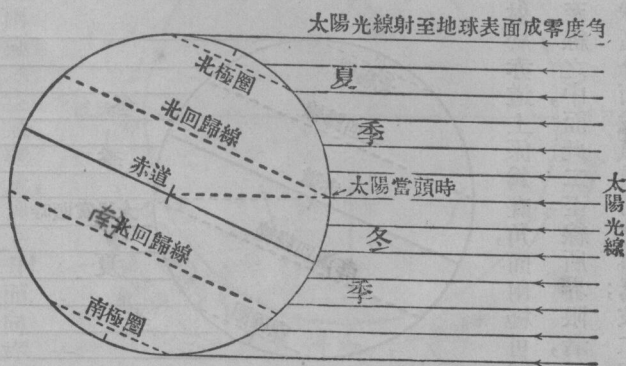
地球之溫暖 (warming of the earth)

茲吾人可以進而討論地球表面在日光曝曬下，及地球上之風及氣壓分配之結果矣；惟在討論以前，吾人須不計其海面及陸面之變化，而以地面為純粹之陸地也。至太陽之光線則如前章所述，可視為平行線，但因地球有

下層之空氣，因溫暖而膨脹，遂使其密度減低而欲穿過其四圍較冷及較重之空氣而上升焉。當空氣由底部吹入之後，於是其空氣即上升而籠罩於海島之上，其所佔之位置，即為彼向外空氣之行動所造成者，但該空氣上升之後，即行膨脹，並依照不關熱力增減之空氣冷熱法而漸漸冷下，且其溫度之下降，較之彼四圍空氣之按尋常垂直溫度之度數而下降者，則尤為迅速，其後該空氣達至一種水平線，彼之溫度，已較其四周之空氣為暖，於是乃停止上升焉。又

在海島範圍之外，彼在底部吹進之空氣，又將其所佔之位置讓之於上層向外吹之空氣，但因此即發生一種向下流之空氣焉；在海島上之空處，係有限制者，

彎度之故，此項光線射於地球之表面，與地面成爲零度以至九十度之角
 度。（九十九圖）日力曬曝之效果，與該角度有關，試取某種大小之紙板
 一塊，作一簾幕，在其中間畫一邊闊一寸之方塊，用剪刀剪下，於是又取第
 二塊紙板復於其上畫一邊闊一寸之方塊，並在近紙板之一邊，畫一線，使
 與方塊之邊平行，然後在紙板每端之邊際，各插入一針，並須沿該線之方
 向而插入之，俾其針可以安置於一支架之上，而該紙板即可環繞該針而
 轉動，如環繞於一蝶鉸然，於是乃在一烈日當空之際，可盡吾人目力之所
 及，將該簾幕安置之，使與太陽之光線成爲直角，其另一紙板，則安置於該
 簾幕之下，彼此約離尺許，其針則插於支架之上，此種支架，或爲箱子，或爲
 書籍，均無不可，惟此兩紙板，則必須彼此並行焉；若該紙板與太陽之光線，
 成真正之直角，則一方塊之日光，經過上層之紙板時，祇須將下層紙板之
 位置，安置整齊，即能使之完全照耀於彼畫於下層紙板上之邊闊一寸之
 方塊上矣；此時如將下層之紙板繞蝶鉸而旋轉之，則彼明亮之方塊，將伸展而成一長方形，其一邊之長度，仍爲一
 寸，惟其他之一邊，則略較長耳，是以當紙板與太陽光線成爲直角之時，其接受日光之面積，乃爲最小，而紙板與日
 光之斜度愈大，則彼日光輻射力所散布之面積亦愈大，是以太陽使地面上任何面積發熱之效力，顯然係在該面



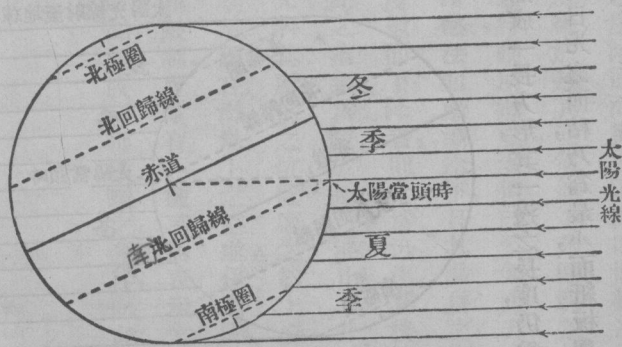
第九十九圖 北半球夏至時在地球上日曝之區分

積與太陽光線成爲直角之時爲最大，若光線射於地面而成一較小之角度，則其效力亦必較小，此即當太陽之高度在較小於九十度之時也。（參觀一〇一圖）

冬夏之溫度 (winter and summer temperature)

一年之中，其溫度之所以有變化者，乃因太陽高度之有變更也；此項高度之變更，係爲地軸與黃道平面間之斜角所造成，彼由地球至太陽之距離，則與此事並無若何之關係焉；在實際上地球與太陽間之距離，當以在北半球夏至之日爲最大，而以在冬至之日爲最小，第九十九圖乃表示北半球與太陽之光線在夏至時之關係，而第一〇〇圖則表示冬至時之關係者；在冬至日太陽最大之熱度，則在於二至線之處，即在赤道南二十三度半及赤道北二十三度半也，若在春分秋分之時，則其最大熱度，即在赤道上矣；茲欲使

此事易於想見，則其最善之法，可假定在九十九及第一百圖中之太陽光線射於赤道上係爲直角，而兩極可同時射到。吾人由此即可知地球上最熱之地帶，一年之中，皆隨太陽而旋轉於二至線之中，而此二至線所界限者，乃爲平均最熱之處，彼最冷之區域，則在於鄰近兩極之處，於是吾人即可論到地球區分而成氣候帶之事焉；彼二寒帶



第一百圖 北半球冬至時地球上日曬之區分

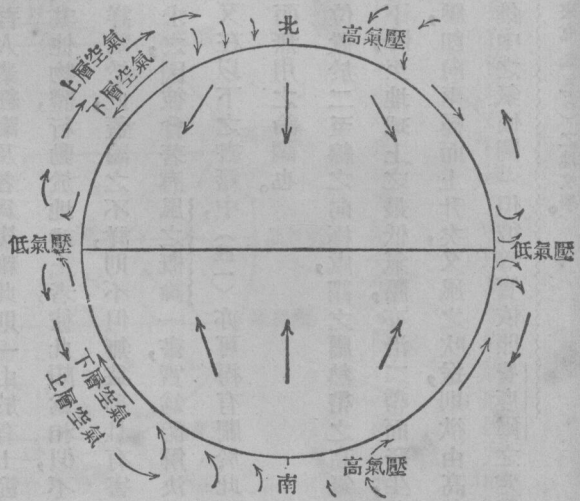
則係兩極圈與南北二極間之區域二溫帶則由兩極圈而伸至冬至線及夏至線者，尚有一熱帶則橫臥於二至線之中者也。

吾人現悉凡地面溫度較高之處，其表面氣壓必低，地面之風向內吹，高層之風向外吹，又知空氣溫度高則上升低則下降。吾人當能預料空氣運行在每半球各有一完全之統系，如第一〇二圖所表現。但地球上空氣之總量，既為始終不變者，則吾人即可假定（一）在地球表面

上行向赤道之空氣總量，係與行向兩極之空氣總量相同，（二）下降而向兩極之空氣總量，與上升而向赤道者亦相同。又吹過凹凸不平之地面之風，其因磨擦而受之障礙，較上層空氣之風吹過下層空氣者實大相懸殊，則又甚明顯也。茲更有進者，則在最近兩極之緯度二十度處之面積，較之最近赤道之緯度二十度者大小懸殊，是以向上之風係吹入於較小之空處，如欲將其相當之空氣總量吹入之，必須吹得格外猛烈，故上層之風，及在高緯度所



第一〇一圖 在六月二十一日為同樣大小之日光所溫暖面積之比較。



第一〇二圖

吹之風，須較近地面及赤道者爲烈，又在南緯及北緯三十度之緯線，適分半球而成兩等積之部分，是以吾人若假定上升之空氣，乃佔二至線至赤道之區域，下降之空氣，則佔有二至線向兩極之區域，亦不能謂爲無理由也。

風及氣壓分配之大略 (general distribution of pressure and wind)

質言之，地面上氣壓普通之分配，及風之普通之方向，殊較吾人業經論及者爲複雜，此則一由於有上節所述之事實，一由於地球之自轉也；蓋空氣中之微點，行動於風中，與其他物體，行動於地球上者，彼此頗爲相似，不但有其自身之轉動，且須隨地球而轉動也，惟此項問題，吾人殊不能詳論於此，蓋論之不詳，則不但無益，抑且有害焉，惟學者如欲研究此問題，則不妨於費鹿爾 (Ferrel)之著作中以求之，因彼曾著有風之概論一書，實爲能解決此問題之第一人，至於此書則不難得之於最良善之公共藏書樓中，又在以下之書籍中，(註一)亦可得有關於此問題可靠之學識，惟學者須知多數之書籍中，對於此問題，仍多有舊而無用之論調也。

空氣最高之氣壓，可沿圍繞地球之二帶以求得之，此二帶位置於二至線之向極處，謂之屬熱帶之高氣壓，其沿該帶之氣壓並不一致，自該帶向兩極或向赤道，其氣壓即行下降；至地球上之最低氣壓，亦沿二帶而發生，此二帶則大都係圍繞於南北兩極圈者，在此項極圈之外，空氣之氣壓，即向兩極而上升矣，又風之吹送，則欲由高氣壓帶而入於低氣壓帶中，並與等壓線相交而成直角，(試觀地圖集中之氣候圖)但彼等實依照費鹿爾之定例而

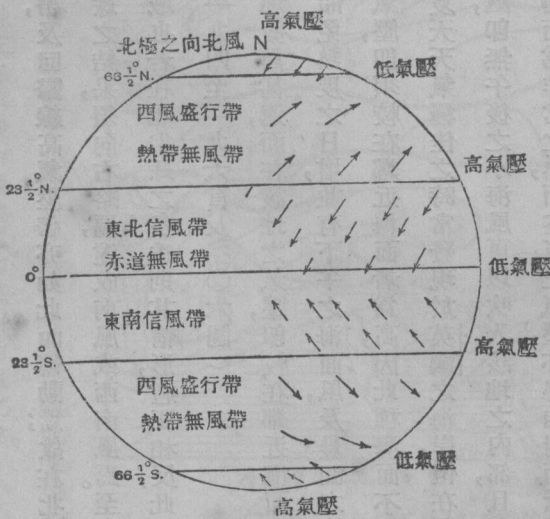
(註一)狄克遜 (Dickson) 之天氣與氣候大衛斯 (Davis) 之初級氣象學及來克 (Lake) 之地理學。

略加修改者，其定例曰：

在北半球中，風之吹送，乃與等壓線成直角而略轉向右方也。在南半球中風之吹送與等壓線成直角而略向左方也。

是以又有拜羅 (Buys Ballot) 氏之定例曰：立而以背向風，則在北半球中，君將有低氣壓在左，高氣壓在右；而在南半球中則低氣壓在右，而高氣壓在左焉。

其實風吹之方向，與其謂為適與等壓線垂直，毋寧謂為沿等壓線之近似也；蓋最強之風幾沿等壓線而進行。茲有一等壓線及風之普通制度，連同風之名稱，表顯於第一○三圖中，此等之風發生於地球之上，一若地球上並無水陸之不同者，故可稱為行星風。惟在北溫帶之居民，則知真正之風，與此項普通制度之風，頗有差異。然此種制度則頗能代表事物之基本計劃也。其差異處，則吾人可以說明之，大抵由熱帶高氣壓帶隨太陽南北移動之動作，海洋與大陸之分別，地面上之高低不齊，尤其是空氣中水蒸氣之動作有以致之也，然尚有其他之原由，則至今猶未知之，此則



第一○三圖 行星風之制度

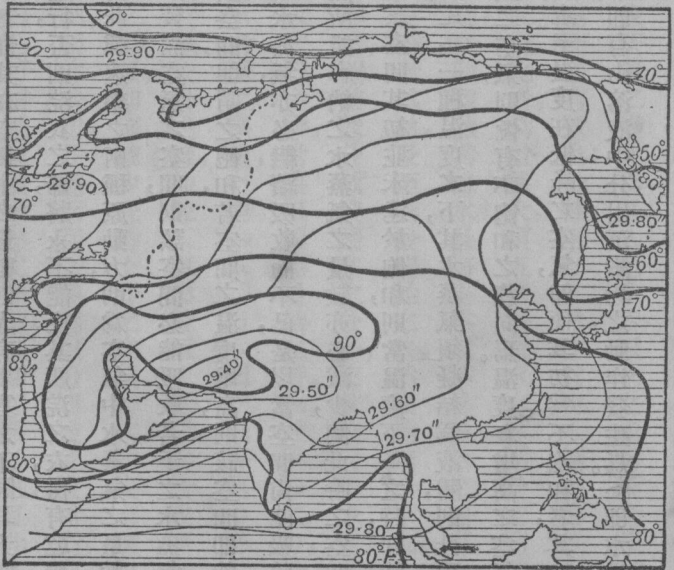
爲吾人不能預測天氣之故也。

地球上最熱之帶，既向太陽而南北轉動，故赤道低氣壓帶，及回歸線高氣壓帶亦如此而轉動焉；故在北半球之夏季，彼東南信風即經過赤道而吹向北方，並因轉入北半球之結果，須向右略偏，遂成南風或西南風焉。至東北信風，則吹過大陸而遠至北方，在冬季之時，乃西風盛行帶區域也。若在北半球之冬季，則其情形適正相反，此即爲風帶及氣壓帶之時令之變動，且含有重大之關係者也。（見一九四至一九六頁及一〇六圖）

茲更有重要者，則爲水陸分配之影響也。在夏季之時，陸地發熱甚速，而在該地之氣壓，即較在鄰近海面者爲少焉。若在較小之海島中，則日有小海風吹起，以使陸地寒冷而免熱度之日增，並有下午之海面風，及晨間之陸地風，彼此更番吹送也。惟至夜間則陸地退熱甚速，而在該地之氣壓，即須較在鄰近海面者爲高，因此種海面不如陸地退熱之速，且在晨間又有向外吹之微風生也。此種變更，在夏天氣極佳之時常發現於英國之海岸，但在極大陸地如亞歐之大陸處，則其情形即大異焉；蓋在此種大陸之處，即無午後之小海風可以吹入，該地之內部，且在長夏之日，其熱度又須日漸增加，是以該陸地之表面有幾處即變而爲非常之熱，而空氣之氣壓，亦必相對而低降。例如第一〇四圖，即表現此事之形狀者，至低氣壓與熱度中心點，則在俾路芝 (Baluchistan) 及波斯 (Persia) 之高原也，其地之等壓線，形成閉合之弧線，且表現一種大旋風之形狀，即在全夏之中，亦爲定着而不動者。又在附近海面上之等壓線，亦爲閉合之弧線，但此項等壓線所包含之面積，其氣壓較高，且示有一種反旋風之形狀焉。茲以旋風而論，其風之分配乃成一空氣之旋渦，且既在北半球，故其旋轉之方向遂與鐘針相反矣；至與陸地之關係，

則該風多由海向陸吹送者，故可減輕海邊之熱度而致雨焉。如在內地，則風因已吹過一極其廣大而又溫度甚高之大陸，故遂熱而焦灼矣。惟在冬季，則其情形，乃全變焉；因此時之陸地，其由太陽光線中所收得之熱甚少，而其所放射則遠過之，而尤以夜間爲甚焉。是以以冬季而論，則陸地必日冷一日，故在西比利亞 (Siberia) 東北之冰天雪地之區域中，卽有一種高氣壓制度中之風，或反旋風發現焉，在此項反旋風中，其風之形狀，可爲一種依鐘針而旋轉之外吹空氣流，乃沿海岸而吹向海中者，此項因節候而變更之風，卽爲吾人所知之季風也。

學者若能於其地圖集中之氣候圖內一觀其回歸線高氣壓帶，卽可得悉此項回歸線帶不啻爲一連續的反旋風帶必俟有大陸橫斷海洋，而此反旋風帶乃始斷焉，此項反旋風在兩半球之中，頗現有相反之處，學者不難依每半球中陸地之多寡而指定之也。



等壓線 ———— 等溫線 ————

第一〇四圖 亞細亞七月分等壓線及等溫線，

氣壓以寸計算，溫度以攝氏表之度數計算。

水蒸氣 (water vapour)

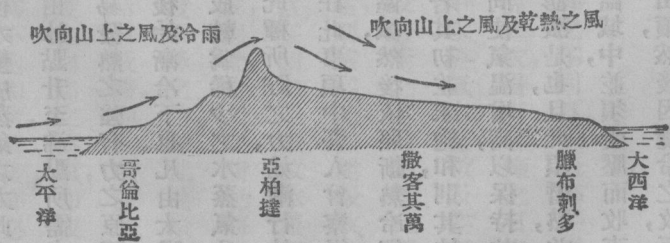
水蒸氣爲空氣中之一原素，乃常在於空氣中者，惟其在空氣中之量數，則大有多寡之不同耳。大概每一層之水面，卽在天氣極冷之時，其水之蒸發，無不繼續進行，否則洗衣之婦，將永不能使其所洗之衣，得有乾燥之日矣。至蒸發或乾燥之速率，則差異甚多，而除風以外，統御此種速率之兩種原動力，則爲空氣中水蒸氣之量數及空氣之溫度也。試在某溫度之下，指定一種裝滿空氣或未裝滿空氣之空間，則該空間必能吸收若干之水蒸氣，當此種空間業將其所能吸收之水蒸氣盡量吸取之後，則該空間，卽謂之飽和，若空間之溫度增高，則該空間卽能吸收較多之水蒸氣，而此時如有液體之水之存在，則其對於水蒸氣，亦必繼續吸收而不已，是以當空間尙能吸收水蒸氣之時，卽謂之未飽和也。若空氣之溫度下降，則該空間所能容納之水蒸氣之量數亦必減少，倘此時之空間已將近於飽和，則有一部分之水蒸氣卽將凝結而成液體。若該空間其初並未達於飽和，則當溫度下降之時，卽能達於飽和之點，及過此點之後，則其水蒸氣卽須開始凝結矣。凡在一種溫度之下，其水蒸氣須凝結爲液體，則此項溫度卽謂之結露點也。又海上之空氣，恆趨向於飽和，而陸上之空氣，則恆有不飽和之趨向焉。溫度在增高之空氣，卽使其初爲飽和者，亦必漸趨於不飽和，且可增進水之蒸發也。至溫度在低降之空氣，卽使其初爲不飽和者，其後亦必達於飽和，且此時其所含之水蒸氣，卽須凝結，而其結果，卽有由溶液中分出沉澱物之動作發生焉。（卽水成液體或固體之形狀也。）

蒸氣並非一種氣體，且不遵從彼真氣體所依歸之定例，因其太近於其凝結點故也。是以空氣中之水蒸氣，實爲造成空氣動作中一種變則之原因，其結果且造成天氣之變化焉。吾人通常皆以水之成爲蒸氣係在沸點之時，（即在攝氏表一百度）實則尚須其熱力繼續不斷而後有效也；此種附加之熱，即爲使水變成蒸氣之力，此力消滅之後，即成爲熱，即所謂水氣化之潛熱。其熱之如此變化者，爲數甚大，須五倍於將水由冰點升至沸點所需之熱焉，是以空氣中之蒸發，與多數熱力之熱之消滅有關，此則顯然爲海水及海上空氣不易發熱之強有力之原因。吾人不可假定在未蒸發以前，水及空氣乃較吾人所察得者爲熱，及至蒸發開始之後，然後始漸冷下也。凡由太陽所發出之輻射力，皆直接成爲潛伏力，即吾人所謂潛熱者，因其能分散液體水之分子，使成較爲稀少之水蒸氣分子之工作也。水經蒸發之後，則其蒸氣即顯然爲一極大之貯力所，當蒸氣開始凝結之時，此種所貯之力，始漸行放出；而其潛熱，亦即發出而爲熱。茲吾人可以反觀上節所考慮之事項，（第一八〇頁）因在此事項中吾人曾察得在海島溫暖表面上之上升空氣流之情狀也。當此項空氣上升之後，即流入氣壓較低之區域，然後依照斷熱冷卻法而漸漸冷下焉，但寒冷之後，則空氣中所含水蒸氣之容量，即須減少，此時上升之空氣，若其初並未飽和，則其結果，必成爲飽和，而凝結之事，亦即隨之而發生。即彼潛熱，現亦發出，並進而與太陽輻射力同使氣溫增高，以保持其空氣向上之行動焉。此時之潛熱，即使尚未發而爲熱，但已可增進氣體微點之分散，此即澎漲是也，且此項潛熱，並可阻滯空氣之變冷焉。及至空氣果已入於下降空氣流之區域，即須帶入於氣壓較高之區域中，並須受壓而收束，而其由凝結之水中所得之力，即現而爲熱矣。此則當大陸地形使潮濕之空氣上升至於山頂，然後因變冷之故，而遣

棄其水蒸氣時即可知之，至彼熱濕之西風，吹向內地，經過坎拿大 (Canada) 落機山 (Rockies) 者，即如此而上升并依照斷熱冷卻法而冷下。(第一〇五圖) 又山嶺一帶，乃為降大雨之區域，此項大雨以在山頂之下風處為最大，因由向上之路徑而升起之空氣，在其開始下降之前，須掃過於山嶺之頂端，及其下降，則須沿東面斜坡成著名溫暖之休奴克風然；此項溫暖之休奴克風，係以其熱而著名，因其熱力乃為依照斷熱法而增者，及其由海面所帶入之潮濕潛熱，皆現而為熱也。此種溫暖之休奴克風，為一種乾燥之風，致使西亞柏捷 (Western Alberta) 地方，得有一種半乾燥之氣候，但其融化麥地之雪，乃在冬季之後，且可使耕種之工作，得以早日開始焉。至歐洲吹向北方而入瑞士 (Swiss) 山谷之風，亦有與此同樣之效力，而其名稱，則依其風之本地名稱而名之曰焚風。

茲吾人可轉而論氣候帶之情形，並略記事物之真實情狀，而吾人現所討論理想上氣候狀態所以不能實現之原因可以知矣；惟欲知此種趣旨之大意，則必須得悉天氣觀察之如何進行，及用觀察天氣法而如何研究氣候焉。

天氣之觀察 (weather observations)



第一〇五圖 美國著名溫暖之西風

空氣之溫度，須造一有百葉窗之木箱置溫度表於內以量之，此種百葉箱須置於離地四尺高之處，庶幾各處觀察情形可以盡一。(註一)至所用之溫度表則有普通溫度表最高溫度表與最低溫度表(用以計算其由日間或日間之一部分中所得之最高及最低之溫度)又有一種附有濕球之溫度表，其所示之溫度數，則恆較尋常或乾球溫度表為低，因其須輸送潛熱至其表面所蒸發之水中故也。又空氣離飽和之狀態愈遠，則其蒸發必愈速，而乾濕球溫度表上所示溫度數之差亦愈大焉。由此種差數則空氣露點，及空氣中之潮濕量數(即為使空氣飽和之百分數之量數，稱為相對濕度)則係用表以計算之者，而空氣之氣壓，則有氣壓表以計算之，惟其高出海平面之高度，則必須預知，是以氣壓表當然無與溫度表同置於百葉箱內之必要也。至風之力量，及其方向，則可用一儀器謂之測風器者以測量，或計算之，此項測風器，含有一風標，以指示風之方向，並有車葉四片裝置於一依橫平面而旋轉之短臂之兩端，即為一種風車也，其車葉旋轉之速率，有一組有齒之車輪以指示之，而在各級大小不等之風力時風之速度與車葉速度之關係，必預先求得。尙有另一種之驗風器，其風之速率，係以一開口管中空氣之壓力測

(註一)溫度表露於日光之下，則可得一較高之溫度，因其乃為直接吸收太陽之射熱者也；若在同一環境之下，將此同一之溫度表，用一繩繫之，並將其圍繞頭頂而揮動片刻，則其所示之溫度數，即須較低，且可指示其所經過之空氣之溫度焉。溫度表在氣象學中，須用以指示空氣之溫度，是以普通皆藏貯於百葉箱中，以免接受太陽直接之光線，因在百葉箱中，則空氣能自由出入也；若能如此保持之，則所示溫度即為遮蔽處之溫度，此種溫度，與空氣之真正溫度頗相近，故在精確之工作中，則多用旋轉溫度表，即一溫度表用手或機器，將其旋轉於空氣中，濕球溫度表亦有用此法以求其溫度者。

量之，其管口則可用一風標而使之與風相向焉。至風力之大小，可用蒲福 (Beaufort) 氏所定等級（見附錄二九五至二九六頁）或用空氣每小時所行里數之速率以指示之。如無風標可用，則測定風之方向最善之法，乃爲觀察煙灰所流之方向，又雲之運行，亦足以計算上層風力及其方向也。惟各種不同之雲，既發生於高出地面不同之高度處，則在不同之水平面上卽有數種空氣流，有時可以觀察焉。天空之中，凡雲之狀態及量數，必須注意及之，而雨雪或其他水量在二十四小時內所降者，此則可用量雨計以測量之，此項量雨計，爲一圓筒，其圓口之面積，乃爲已知之數。其收聚於量雨計中之雨，或已融化之雪，則可測量於一依照量雨計圓口之面積，而刻有度數之玻璃器中以指示雨水降於地面上之深度。又除此種目力之觀察外，尙有自記儀器，如自記溫度計，自記濕度計（此種儀器係憑髮絲之性質以指示空氣中之濕氣者，在此器中其髮之長短，則依其空氣中潮濕之變化而不同），自記氣壓計及自記風力風向計，亦可藉以測量，至此種儀器，係以鐘表機，或電力，或二者並用而紀錄溫度、濕度、氣壓、風向及風力，而繼續不息。凡此種種之計算，雖不無錯誤之虞，但皆可用目力之觀察以校對之也。

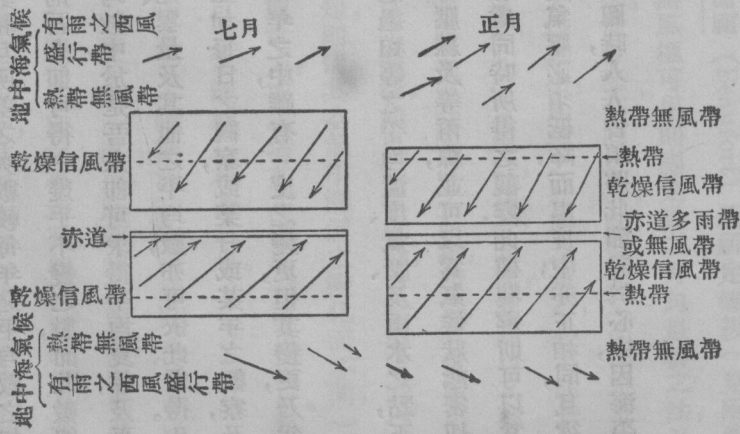
天氣之觀察，則多在氣象臺行之，且其觀察，恆有定時，每隔一小時或數小時觀測一次，須視該氣象臺之重要如何而定之，凡一日中在某種時間之溫度，並無若何重要之關係，惟一地之平均溫度，則頗爲重要焉；而此項溫度必須計取二十四小時中所有觀測之平均數目，而後可以庶幾得之。由此種每日之平均數，卽可計算每月或每年之平均數。然後風力、雨水、濕度，以及氣壓之平均數，皆可次第而計得焉。全年之中，其風由每一方向所吹之時間之距離，卽爲表示該地普通之風向，而各種風方與天氣之關係，亦多列入於表中。惟年年之氣候，常有不同；譬如有時

爲一極熱之年，有時又爲一極冷之年，是以則不論在任何地方所測得之溫度平均數目，皆年有不同也；但吾人若有長期限之觀察，則熱年與冷年互相平均，可見五年期間之平均數，其相互所差之次數，較每年之平均數之相差數，頗爲少焉。故年限愈長之平均數，其彼此之差數亦必愈少，其結果則吾人即可得一幾乎不變之數，而此數即可視爲每年平均之溫度矣。同一理由，亦可應用之於每季及每月之平均數中，於是吾人即可求得平均夏季及平均冬季之溫度，推而至於平均正月、二月、三月等之溫度焉。又雨量、日光、雲量及其他之平均數，亦可依此求得。凡此種種則皆謂之氣候之原素。此種原素，乃爲指示天氣之通常情狀者，正如每日之觀察，或某月或某年之觀察，乃爲氣象或天氣之原素也。蓋天氣有變更，而氣候則無甚變化，因氣候在一年之中，雖有一度之變更，但其變更，乃爲有定限者有規則者及循環者也。

倘將此種平均之溫度氣壓等等繪之於圖上，即可得若干線使通過相等之平均溫度、氣壓、及雨水之點，正如繪畫等高線然也。（見第一二八頁）此種所畫之線，即謂之等溫線、等壓線、及等雨線，並可以爲氣候狀態密切之指示。又此種線亦可用以繪畫每季及每月之平均數，暨在某一時各處同時所得之觀察，此種觀察則可以爲天氣預測之用焉。但氣溫與氣壓相若（見第一七一頁）若地位升高，則氣壓必須低降，而溫度中，亦正相同，且欲得可比較之記錄，則必須將溫度減至水平面之溫度焉。但在應用等溫線圖時，人人皆須將此節記於心中，因海平面上並不示明真實，或真正溫度之平均數，僅示海平面之溫度也。

熱帶 (The torrid zone)

吾人地圖集中之每年世界平均溫度所示之地球最熱之部分，並不在於赤道上，而在於赤道以北成一波狀線。此種理想上經過最高溫度處之線，並為華氏表八十度之等溫線所界限者，可以視為地球上最熱之處，亦即謂之熱度赤道也。試考查一年中最冷及最熱之月，（七月及正月常視為最熱或最冷之月，）之等溫線圖即可表明熱度赤道，係依照太陽而移動者，惟不如太陽之速而已；並可知彼最熱之區域，在一月與七月，地位並不相同，學者若一回想第一八六頁之所述，即不難得悉此事乃與廣大大陸地之位置有關也。熱度赤道之區域，乃為一種風力靜止而有上升空氣流之處，此種上升空氣流，可以致多量之雨，因之彼叢密之赤道森林即可在亞馬孫 (Amazon) 及剛果 (Congo) 之流域，發達至於極點焉。在此赤道帶之南北，則為信風之區域，此項信風，日日盛行，幾於無時或息，故在汽船尚未通行之日，直可統御海道中一切船舶之航程也。信風帶，常年略有移動，並依太陽及熱



第一〇六圖 依太陽而轉動之風帶之移動

度赤道而向南北移動如第一〇六圖中所示者。又在信風帶之邊際在一年中之一部分，受制於信風，在一年中之別一部分，則又爲赤道無風帶或多雨帶焉。信風帶向兩極之邊地，乃爲一種區域，在夏令則受制於信風，在冬令則受制於西風盛行帶。此項信風由高緯度而吹向低緯度，故彼等所輸送之空氣，在其進行之中，即因而漸漸溫暖，而其含潮濕氣之容量，亦遂而增加焉；是以此項信風，頗有增進蒸發之趨向，乃爲一種乾燥之風也。彼等之結果，即爲陸上之沙漠帶，此沙漠帶在北半球由阿拉伯 (Arabia) 經過非洲撒哈拉 (Sahara) 而達於海者，是以在信風帶向赤道之一邊，即有一區域，因其冬季有信風，故有一乾燥之冬季，又因其夏季受制於赤道多雨帶，故有一潮濕之夏季焉，更有進者，熱度赤道在其移動範圍內之各地，每年之中，既須經過二次，則必有兩潮濕之氣候也，或以普通言之，則在此種地方，每年必有二次之最大雨量也。

副熱帶區域 (subtropical regions)

依太陽而擺動之回歸線高氣壓帶，因冬季在西風盛行帶範圍以內，故爲冬雨之區域；並因夏天受信風之影響，而爲一種夏旱之區域焉。此種狀態，發現於地中海沿岸而成爲一種模範式之副熱帶氣候，並常謂之地中海式之氣候。在地中海 (Mediterranean) 以外，則在北美洲西岸及南美洲南部之尖端，暨澳洲之東南角，亦有類似地中海式之氣候也。

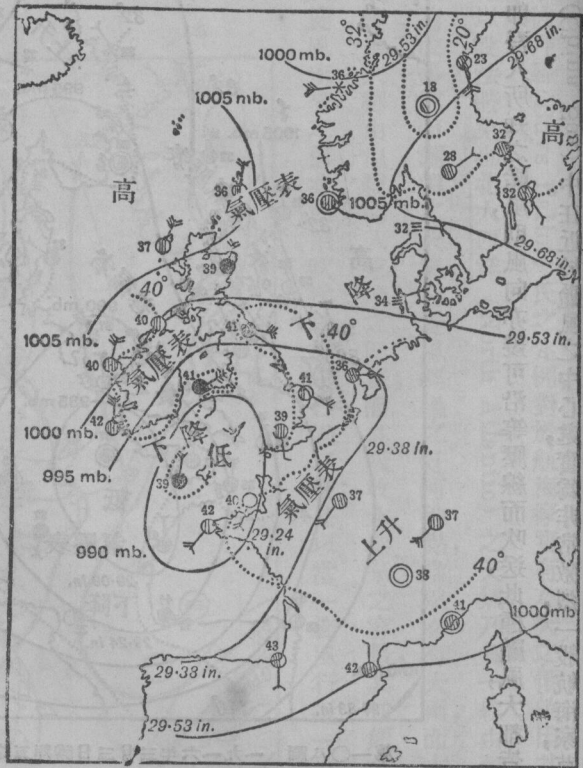
溫帶區域 (temperate regions)

由回歸線高氣壓帶以至兩極圈之處，爲溫帶區域，此區域，殊與吾人有莫大之關係，而在研究上亦爲最難也；此區域，大都皆爲西風盛行帶，但此等西風並非穩定之風，如信風之常年吹送者，特此項西風，較他種風爲普遍耳。若在溫帶中將全年之風，每日記下，即可知在溫帶之區域中，由西方吹來之風，比較由其他方向吹來者爲多矣。是以風有變化，天氣亦必有變化，風之所以有變化者，亦即天氣之所以有變化，二者同出於一源也。至於穩定旋風之意義如何及其存在之最簡單而重要之原因，吾人固已知之。彼溫帶中天氣情狀之所以常有變化，尤其是在北方溫帶中，乃爲流動旋風之路線所通過故也。

穩定旋風及流動旋風 (stationary and moving cyclones)

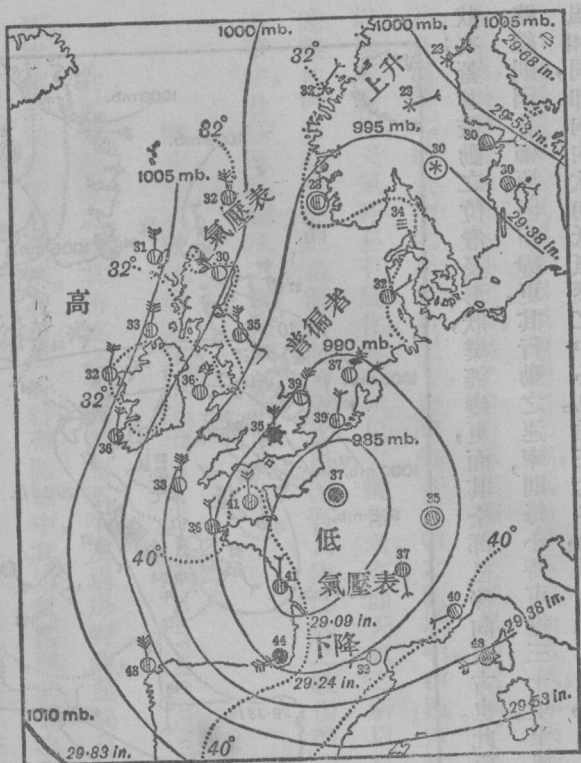
當河道氾濫之時，其所流之水，因河身不平，及堤岸彎曲，遂挾有無數大小之旋渦，而同流焉；此項旋渦，則與水流皆趨向於低下之湖海。在西風盛行帶區域中，其空氣按照其在北半球或南半球，向東北或東南之方向而流動，但空氣普通之流動，則因受彼與空氣流動有同一方向之旋渦之影響，即不能一致矣。此種旋渦，在地面之上，則現而爲旋風。或爲旋轉之風暴，又等壓線則爲指示大氣之情形者，其形狀有如閉合之弧線，往往成爲橢圓形，然亦常爲其他不規則之形狀，以表示氣壓向內低降也。至其狀態，則今日或爲如一〇七圖之狀，而明日又爲如一〇八圖

之狀矣；蓋其鼓動之位置及形狀，業經變更，而其全部已移向東方也。此項風暴，在北半球中大抵皆向東北而行動，其路線則因各種原因而變更，其行動之速率，則每小時可達三十里。至風向之分佈在同一半球中，適與一穩定之旋風相同，即向內吹向低氣壓之中心也。惟在北半球，則風向略偏右，在南半球中，則風向略偏左而已。（見一〇九圖）其實彼等所組成之旋渦，在北半球則為與鐘針相反之方向而旋轉，在南半球則向與鐘針相同之方向而旋

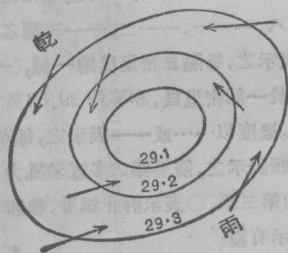


第一〇七圖 一九一六年三月一日禮拜三之概括天氣圖。
 第一〇七、一〇八、一一一、一一二、一一三圖之解釋。氣壓表等壓線以——表示之，每隔五密里貝繪一線，（一貝即為尋常空氣之壓力，等於一個密里貝，亦等於 29.53 英寸，一密里貝等於 0.05 英寸）。溫度以……或——表示之，每華氏表五度畫一線。風向以箭頭表示之，箭尾線之多寡示風力之大小。→→即示蒲福氏風力第三級，○表示靜止無風，●即降雨，米即降雪，≡≡表示有霧。

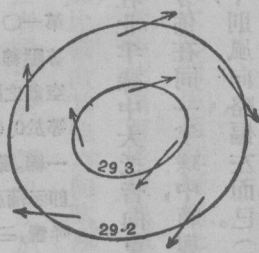
轉，至偏向之程度，則視其風力如何而不同，而風力之大小則因氣壓坡度之大小而轉移者。如近於劇烈旋風之中



第一〇八圖 一九一六年三月三日禮拜五之概括天氣圖



第一〇九圖

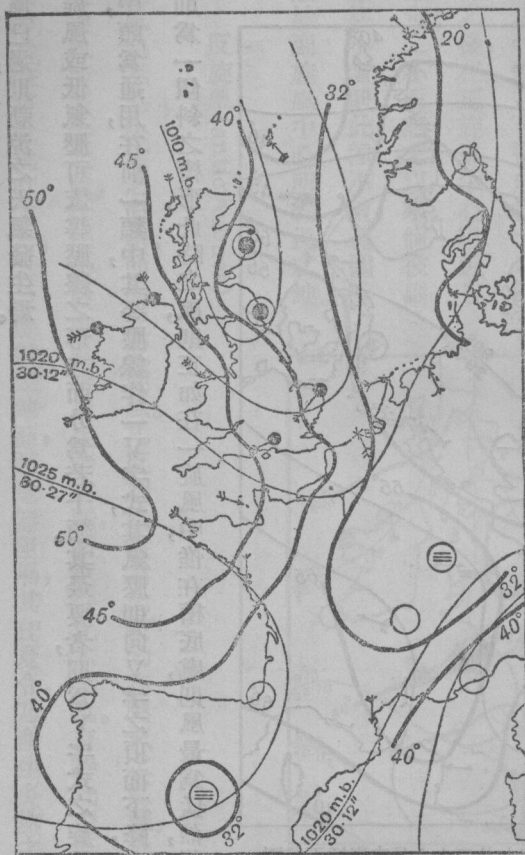


第一一〇圖

在北半球旋風中之風向及氣壓—在北半球反旋風中之風向及氣壓

心處，即吾人所知之颱風，則風向亦幾可沿等壓線而吹送，此種颱風，大都皆發生於印度海 (Indian Sea) 及中國海 (China Sea) 中。在近於颱風之中心處，實為非常激烈，一般航海家，莫不急於避免之，是以航行於此種海之

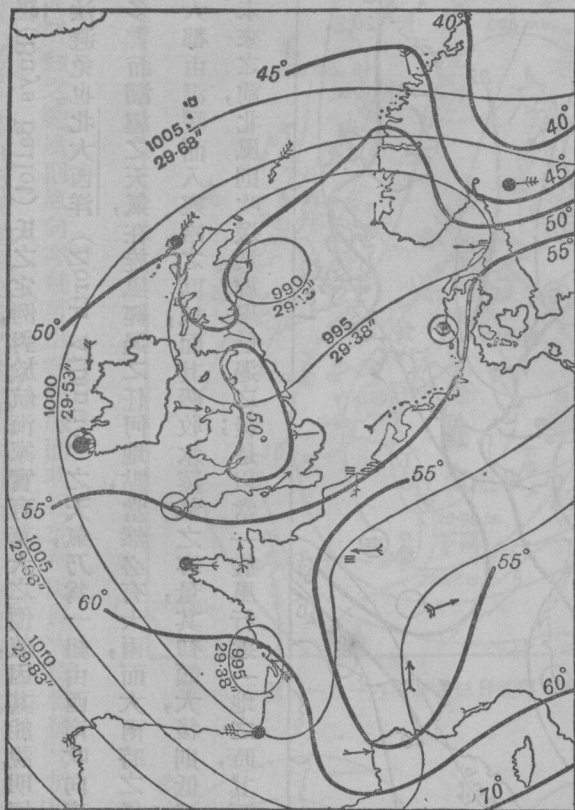
中，彼拜羅 (By's Ballot) 氏之定例，對於航海家實有莫大之價值，因其能說明何處為颶風之中心，而使航海者可以設法避免也。北大西洋 (North Atlantic) 之天氣，乃為一組由西南吹向東北之旋風所統御；此種旋風，可以造成多雲而潮濕之天氣，在旋風經過之任何地點，當然必有大雨，而大雨時之風則由南或西之方向吹入焉，因此等風大都由溫暖而入寒冷之區域，而其吸收水蒸氣之容量，其初頗大，後則低減也。大凡在北半球南風多吹送於旋風未來之前，北風則吹送於旋風已過之後；是以當一旋風行近一地之時，其天氣必熱鬧而陰暗，且常潮濕，及



第一——圖 一九一五年十二月二十一日之概括天氣圖。表示在英吉利島上之V字形之旋風，比斯開海灣上有楔形高氣壓。注意狂風與旋風之關係，東方與西方風向之不同及東方較西方溫度之低——在夫拉醒及克立斯坦孫之降雪。

至旋風已過，則新涼之天氣發生焉。

旋風或低氣壓可依等壓線之形式而分為若干類。其最要者，則為V字式之旋風，及副旋風；此種名詞，在天氣報告中，頗為通用，在前一類中，其等壓線作一V字式，其氣壓則向V字之頂而下降，（第一一一圖）至等壓面之形式，則為一傾斜之槽形，此時之風，則正如在一旋風中，惟在槽底處，則風最為猛烈，蓋在此處彼等即成爲一種所

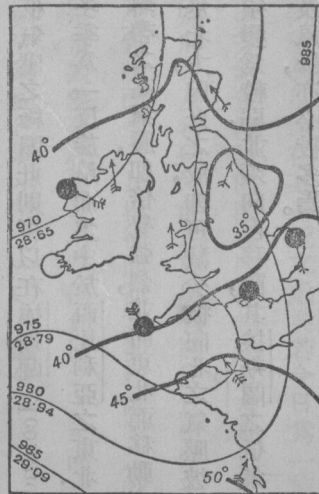


第一一二圖 一九一五年九月二十六日之概括天氣圖。表示副旋風集中於法國之吉倫特，而主要之旋風集中於英國亞伯丁。注意等壓線之稠密，表示氣壓坡度之大及在斯托諾威及勒耐克風力之強。在副旋風西南亦有相似情形。參看兩中心點間之情形。

謂颶風矣。當槽底經過一地之時，則其處之風，必有一突然之變動，而其天氣，亦必於霎那間由清明而變為潮濕多雲矣。至所謂線颶者，頗能毀壞船舶。第二類副旋渦則為附屬於正旋風邊際之小旋風也。（第一一二圖）若觀象臺非遍設於各處，則此等小旋風在氣壓圖中，往往皆略而不記，因彼等範圍恆甚小也。此種旋風，往往祇為一等壓線之彎曲，（第一一三圖）或用一獨立之閉合等壓線以指示之。至氣壓之坡度，在彎曲之凸面，往往頗為峻削，而結果乃發生猛烈之風颶焉。狂風為副旋風之特性，並可造成極大之陣雨，陣雨之後，在正旋風中心附近有一種穩定之小雨繼之以來。倘彼副旋風係甚小者，則此種小雨，範圍極狹，祇限於副旋風中心所經過之地。

反旋風 (anticyclones)

旋風間不易決定之面積，即謂之反旋風。凡反旋風實為比較的高壓氣之區域，如第一一〇圖中所指示者，惟此項反旋風所產生之風，往往校彼旋風所產生者為弱，而更變化不定也。有時此項反旋風發生之時，天氣甚為清明，當太陽光線將近垂直之時，其光線射至地面，而毫無阻隔，其在夏令，乃產生炎熱之氣候，冬季則晚間可任彼地



第一一三圖 一九一五年正月三日之概括天氣圖，表示在英吉利海峽西南部之副旋風（看等壓線之凸起部）主要旋風心在愛爾蘭之西北，注意在細雷羣島及海峽島之烈風又接近斯託納威之等壓線及在該地之烈風。

球得以發散其熱，而產生嚴霜焉。是以秋初春末之清明，而有霜霧之天氣，亦與此反旋風頗有密切之關係；正如吾人在潮濕之氣候中，地面一旦驟冷，即可減少彼存留於地面上空氣中之潮濕，而使其達於飽和之點，且可釀成霧靄陰暗之天氣也。

西歐之天氣，皆受制於吾人上述之情況；至彼繼續不絕之旋風，究係若何而造成者，則至今猶未十分明瞭也。惟其較永久之氣壓情狀，則有三種：（一）爲回歸線之高氣壓帶，此則可以在亞速爾（Azores）島附近之較爲永久之定著反旋風以代表之；（二）爲低氣壓之極圈，此則可以在埃斯蘭（Iceland）附近之定著旋風以代表之；（三）爲歐亞大陸氣壓之分配，即在冬季爲一反旋風而集中於西比利亞之東北，在夏季爲一旋風而集中於阿富汗及波斯之高原也。當夏季之時，彼熱帶之高氣壓，即倍覺強烈，並向更北而移動之，而彼埃斯蘭（Iceland）之定著旋風，則變而爲較弱，且亦漸漸趨向於北方，因此之故，即可減少彼向北之氣壓坡度，而風亦可較小，風暴亦較少焉。如在冬季，則彼亞速爾之高氣壓，即須變爲較弱，並須向南移動，其埃斯蘭之低氣壓，則益爲強烈，並伸展而至於更南之處，而其結果，則在英國之大風及風暴，亦必較多焉。

此種氣壓制度之繼續變化，實爲最有效力者，蓋彼能使吾人所住地之天氣，更爲變化無定，且因吾人不能深悉此種流動旋風之原委，及其性質，遂使天氣之預測成一難題焉。在一般人惟一解決此項問題之方法，則爲漁夫或鄉村郵差之所採用者，蓋天氣之狀況之於漁夫或郵差，實爲彼自身重要之問題，且彼對於觀望天氣上俱有畢生之經驗，當然可以察得天氣晴雨之徵兆，而獲得吾人之信仰也。彼氣象局之觀測者，則根據全國各氣象臺之報

告（此項報告乃由測量儀器中所得者較爲可靠）及該局歷年所保存之真實觀察及所得經驗，以預測天氣。惟此點則恆爲一種希望天氣觀察員能有真確之報告者之所忽略焉；彼天氣觀察員最永久之指南，則爲等壓線圖也。至每日之中，在倫敦氣象局用電報所收得者，則有在全國中同時所得之觀察，並有在歐洲大陸及在海面船隻上所得之者，其氣壓表上之讀數均減至海平面之高度而繪之於圖中，並將等壓線一併載入焉。於是預報者即可一望而知何種氣壓之制度，係在英國，及何種制度，係在其鄰近之處矣。若今日爲一旋風，而昨日之圖，或已於英倫三島之西南，示有一相似之旋風焉，於是彼天氣預報員，即謂一風已趨過英吉利（England）之北矣。……并進而指明全國各地之某種天氣，乃與此種特殊形式，及特殊位置之旋風有關係焉。但觀象臺之分配，每有不能指示一種重要之副旋風在何處，彼之預測，遂發生錯誤，而受人民指摘而謂其徒耗國家之公帑矣。彼天氣觀察員復在彼之圖中，將加入等溫線及若干符號，以指示每觀象臺在早晨七時係如何之天氣，而少數新聞紙，且將此種概括圖，每日公布於其天氣記錄之欄中焉。（此種天氣圖，已表示於第一〇八圖中。）

天氣及氣候在商業上之重要 (commercial importance of climate and weather)

地球上地方之肥瘠，及何種地面能有森林，何者爲多草之區，或爲草原，皆可由氣候以主宰之，且可限制某種區域，能有何種之收穫焉。是以天氣及氣候與商業之關係，實甚重要也。大凡精良之天氣預測，實有重大之價值；譬如麥乃產生於澳大利亞及合衆國，與坎拿大之西部各區，其天氣比較乾燥之地，因近代科學之發達而促成此爲

可能之事。惟此種地方一季之時令，如較尋常者稍為乾燥，即須有荒旱之虞，是以能有一種可信之天氣預測，實為最要之事也。

此種土壤之乾燥，或因該地前曾森林茂盛，草木之凋落，使土壤蓄積大量之腐植質，故其土壤之肥力，較尋常者為大，且其土壤之含水量，亦較尋常者為多。

天氣又最對工商業上之重要 (Commercial importance) (Hoffman has defined importance as follows) (Hoffman has defined importance as follows)

昨日公佈其天氣預報之圖中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

大氣中，(一)表示大氣中，(二)表示大氣中，(三)表示大氣中，(四)表示大氣中，(五)表示大氣中，(六)表示大氣中，(七)表示大氣中，(八)表示大氣中。

第八章 內地運輸——國內貿易 (Inland Transport: National Trade)

鐵路運輸 (transport by rail)

現在內地運輸最重要之方法，乃以鐵路爲運輸也，蓋鐵路有速力信用及廉價之利益焉，茲又有用汽車道以發展道路運輸之趨向，因辦理大宗經常貿易之公司，如能將運輸之權操之己手，即可獲得利益，而無費用速力或信用之損失矣。但此種運輸，現在猶在幼稚之時代，雖在幅員短狹之英國，汽車運輸，或可成爲鐵路之勁敵，然在長路可行之歐洲大陸，及北美則鐵路一項，似仍握有運輸上之特權也；鐵路所有一種勝於公路運輸之利益，乃在其能壟斷鐵軌之施用，因在公路上，彼汽車之運輸，必須顧及他種之運輸，而在速力之利益上，即有若干之損失焉。

有時或有謂運河之運輸，須較鐵路運輸爲賤，此說頗爲錯誤；在此兩種運輸上，其主要之費用，乃爲運輸路線之維持費，海上運輸所以低廉者，大都因其無須供給道路也。運河之運輸，在表面上觀之，似尙低廉，因各種運河，往往皆爲社會所供給者，且收費用晚近以來，有多少運河，皆建築之，以冀其可以收回資本者，大都皆已失望矣。卽最爲人所稱頌歐洲大陸之運河制度，其在經濟一方，亦皆歸於失敗；至其所賜於社會上之利益，吾人若將其在軍略上不可計算之價值置而不論，則亦殊可疑慮也。凡建築一運河之費用，較之於建築鐵路之費用，最少每英里須多

兩倍之鉅，且往往有四倍或較多於四倍之鉅焉，是以其徵收運費之比例，按照付出之資本計算之，則運河所徵收之運費，應較鐵路所徵收者有二倍至四倍之多；其實運河所徵收之通行稅，往往皆不足以償其每年之修理費，甚至彼大著成效如曼徹斯特 (Manchester) 之運河，亦莫不如此焉。海上運輸較廉於內地之運輸，至內河之運輸，則僅在其水道，係由可航行之江河所供給之時，始能較廉於鐵路之運輸，因此種河道可無須整理及改良者也。吾人對於此章中所應討論者，則僅限於鐵路之運輸，但吾人有多少之結論，尤其是地形對於鐵路之影響，則對於近代之道路，頗少論及，而對於運河，則較爲着重也。

鐵路傾斜之度數 (Gradients)

鐵道之勢力，全在於速度，減少其速度，即減少其功用也；火車機頭在行駛於一較有定限之速度中，其工作最爲儉約，凡在長山大嶺上火車速度之低減，及其機器當火車徐徐上山時之費力之拖引，皆足大減機頭之功效焉；但苟山坡甚短，則其速度可以拖帶火車達山頂，而不至十分遲緩及費去過分之力也。又當機頭欲盡力開動一重載之火車於一向上之斜坡時，其機頭車輪之磨擦，必大有耗損於車輛及鐵道焉。若道路之斜度，過於峻峭，即機器拖引之力，即須遭受打擊，是以在鐵道路線上山之峻峭，必須嚴加限制。大凡在一上等之鐵路，其斜坡斷無過於五分之一者，如有此種斜坡，則火車經過該處，必須加一機頭以拖帶之，至於二十五分之一之斜坡，則即在最簡便之鐵道，亦未聞有如此之斜度也。

是以各種鐵路，皆須大受一國中地面凹凸之影響，而高山峻嶺則頗有效力以阻止鐵路之通過，或使之環繞於他處也。極微之高度，即有極大之影響於鐵道之路線，如在薩里斯布利（Salisbury）平原之圖中，（見第五章一百四十四頁）及在該平原之西北部之圖中，（參觀第一百十五圖）即可以見之，試將圖上之鐵道及公路所遵循之路線一比較之，則對於此節，即可獲得不少之教益。且鐵道與地面之凹凸之關係，既如此之密切，等高線雖能指示地形之主要形勢，但由鐵道之路線卻可深悉彼不甚明顯之地勢。地形及商務，乃為決定鐵道路線之主因，蓋鐵道之建築，祇在有商務可以使其得有進款之處，或在自有鐵道引進之後即有一種商務可以盛興之處也。但在此中，即於新建國及舊國家鐵道發展之歷史內藏有一種差異之原因焉。因在舊國家中，即在鐵道尙未造成以前，其商務早已發展，並已有固定地點矣；其鐵路之建築，僅用之以為聯絡彼此之商務中心點及其鄰近實業原料之發源地也。如在英國則最初鐵路之建築，乃當作改良之道路，以為馬拖之煤業運輸，由其煤礦區域而運至市場運河大江或海岸等處之用者；火車之機頭，則因實業區域芻秣之昂貴，致使馬之拖費亦因之而昂貴，而後始漸漸發達焉。是以最初之鐵道，乃係限於一處或一部者，且其鐵軌之闊狹，往往大小不一也。至鐵道幹線之發展，乃在鐵道之便利，已為人所知悉，及公眾對於鐵道運輸之反對，業經消除之後，而後始行建築之。於是乃為通運之便利起見，而畫一軌道之闊狹。其建築費之鉅大，則以政府因謀公眾之安全，定有高等標準之工程及為軍路上之關係，必須有畫一之軌道故也。至土地之昂貴，則因人口之衆多，而尤以能有贏餘之鐵路為甚，其地主因鐵路公司需要之急迫，及願出重價以購地，因將地價擡高之故也。又有多少投資之利益，則須用高價以收買之，一切之抗議，則須以

金錢而報酬之，而最後則政府尙須要求每種計畫，必須有其功績以證明之也。在新建之國，如北美洲者，則地價既屬低廉，管束亦不嚴酷，投資之利益，往往皆不存在，而鐵路之幹線，卽爲實業之前趨，而政府對於鐵路公司尙須贈以多少之土地焉。因鐵路之擴張，卽爲實業及殖民地之擴張，亦卽政府權力及管轄之擴張也。美國鐵路之費用，較諸英國鐵道之費用，乃爲四千兆鎊，與一千二百五十兆鎊之比例，而前者道路之長度，則可六倍於後者焉；換言之，在英國每一里長之路線，較之美國以一里長之路線，費用平均約須兩倍之巨，而在美國建造鐵路，須橫亘落機山，其困難倍蓰英國，尙不計在內。大概英國之鐵路，以其道路之原價言之，當爲世界最昂貴之鐵路矣。

鐵路建築費 (cost of railway construction)

凡一鐵路之建築費，須依賴多數不涉及於有影響英國鐵路特別考慮之事物；而永久之鐵路，其造路及養路之費用，乃爲最初極大之支出也。其主要之分子，則爲土地之形勢，及可以希望之貿易品類及數目，其地形勢上最要之點，則可以地面之凹凸以表示之，但彼地面及地下岩石之物質，及結構，則有一種次等之重要，要以其表面必須足以支持該道路使有充分之堅固也。又一鐵路或須橫過泥濘或卑濕之地，而在卑濕之地之表面，卽不足以支持鐵道矣，故被水濕透之土地，必須增加其力，並須建一固體之基礎，以爲敷設路線之用。其卑濕土地之爲鐵道經過者，則在火車經過之時，或可爲一步行者察得其劇烈之振動也。

在平地之上，鐵路可以選取直線之路而由某點以至某點也；如土地上有細小之不規則狀態，則可將其填滿

或截去之，而截去之地土，即可用之以爲建造鄰近之堤岸，但土地若爲水道所截斷，則必須用橋梁以通過之，且氣候如係潮濕，則尙須備辦充分之排水法在焉。山地之處，則鐵路必須攀登而達於山巔，此則皆係循彼最平坦之斜坡而爲之者。在山谷較低之道中，則此種斜坡卽爲山谷之底也，但當山谷穿過高山之時，則其斜坡，卽成陡削，而使省費之工程，無從設施焉。此時之鐵道，祇得遵循彼乘腳踏車行於峻嶺之方法，採用迂迴之長路，而斜達於河流流動之路線矣。在此種地土上，其鐵路建築之問題，乃在尋覓長路而上升，或尋覓攀登一種垂直高度之最長路線，又山中最底之山徑，亦爲鐵路所尋求者，惟欲攀登而達山徑，則往往頗爲困難耳。長狹之山脊，則可鑿一地道以通過之，而其極高之高度，卽可以避免焉。至於橫嶺，則通常皆係繞之而行者，但有時亦可視其情形之如何而鑿地道以通過之也。又鐵路沿陡削之山邊而行之處，必須築一土臺，使沿彼傾斜之面，而依螺旋形之式以上升。在陡削之山谷中，則鐵道必須由此邊至彼邊，曲折而行之，或須橫過重價之高架橋，或須攀登於一組如髮針之曲線上焉。在曲線之處，其線轉向於斜坡，而欲避免陡削之斜度，則必須依照極尖削之曲線而行之。但曲線之曲削，頗有影響於速度，因火車在曲線上離開軌道之趨向，如彼此之速度相等，其在尖削之曲線上者，須較在平坦之曲線上者爲大。因速度必須維持之至相當限度而其問題，則在使其曲線有足夠之平坦而已。蓋鐵路工程師對於半徑較少於一里之曲線，多不喜用之，惟欲使其曲線寬坦，則彼卽不能不於山之側面而開掘地道焉；但此地道，並不通過於該山，僅藉此以求得平坦之曲線而避免極大之斜坡而已，茲有一個對於此節之好模範，可於聖哥忒德 (St. Gotthard) 之鐵路以見之。(第一一四圖)



第一四圖

掘深之費用，須視山上岩石本來之性質如何為標準，若一包工程之人以一預定價格而訂約承辦鐵路之一段，如不明晰其所開掘之土地之結構，及其普通之地質學，則鮮有不破產者。開掘堅硬之岩石，其費甚大，但彼等於開掘之事完竣之後，即不至塌下成洞也；然柔軟而鬆動之土質，其開掘之費，亦有甚鉅者，因鬆軟之土，掘出之後，即有較多之土墜下，而填沒其所掘之洞也，是以經過此種土質之地道，必須用磚石工

程，或鋼鐵工程以保護之，而其切口之處，則須築之以堤焉，倘一種土地，須築多數之堤以圍護之，或多數卑濕之地，必須行打樁，而開掘之物，可以充作填塞之原料者，又屬甚少，則此項填塞之物，即須由遠道運入，或須由附近無用之土地中以掘得之矣。

運輸事業 (Traffic)

至於運輸事業之性質及容量，則貨物運輸，不必如乘客運輸之須有平穩之轉動，而鐵路之建築，亦不必十分堅固也；若其運輸之容量小，則以小體積之車行駛於鐵軌距離狹小之路線上，即足以應用焉。英國之標準軌道，乃適用於彼車輪凸邊間之距離為四尺八寸半之車者，此即足以供運送乘客及貨物之重大運輸車，及行駛高速度之用，而此種高速度，則可於人口稠密如英國之國家以應用之焉，此種軌道，係採自以馬拖帶之車而來者，因有多數鐵道之建築，其初皆係用作以馬拖帶之運輸也。試一注意此種火車所用之軌道，在多少地方，及若干年代以來，皆屬普遍流行，殊為一種有興味之事也；且此種事實，又可視作實地經歷之明證，以證明此種軌道之寬狹大概可為最愜意者矣。但在新建之國，及人口稀少之國家，則其運輸之量即較小，若旅行速度較低，則於歲收上為有益，而費用較廉之狹軌，實較相宜也，是以西澳大利亞、新西蘭 (New Zealand)、塔斯馬尼亞 (Tasmania) 及開普 (Cape) 之鐵道，以及日本之軌道，皆為三尺六寸之軌，在此種狹小之路線上，其橋梁及地道，亦必較小，而其費用，亦必較省。當運輸事業尚在萌芽之時，則彼單軌之線，中間來往火車相遇處築短距離雙線，俾火車可以彼此通過者，即已足用矣。彼蘇格蘭 (Scotland) 北部之鐵道，即為單軌者，但在火車時時上下之處，則必須供以雙軌，以免出軌及遲延之弊。至在極忙之路線，如由倫敦至北明翰 (Birmingham) 者，則必須裝用四軌，而後可以應付運輸上之需要。但此種鐵道，必須有多量運輸及營業盛旺，始足以抵償此種鉅大之費用也。又最後敷設之雙軌路線，其費用

往往較之初設之單軌路線爲大，因雙軌之路線，必在運輸事業繁劇之時，始有敷設之必要，而是時之國家，則已建立有年，人口亦已較爲稠密，土地亦已較爲昂貴，則因建築雙軌之故，卽有購買及拆毀彼此在貴重地位之上等房屋之必要矣。

歐洲大陸之鐵道，往往在荒野不毛之處，或沙漠之地，亦須架以鐵路以運至彼人煙稠密之區域者，在此種區域，卽無本地之貿易，而彼鐵道之自身，亦必無報酬之可言，但此種鐵道，有時亦必須用鉅大之費用，以建築之維持之，因沙漠之沙，或須壅塞路線也，飲水或有缺乏，而必須用鐵路之貨車以運載之，或須備辦長水管及價值昂貴之抽水機以供給之也。此種路線，卽爲新澳大利亞鐵道之由伯斯 (Perth) 及西澳大利亞至阿得雷德 (Adelaide) 者，且此種特別之路線，尙須與彼經過澳大利亞小海灣之較爲低廉及極有功效之海運相競爭焉。又與此同樣之例證，亦可於美國南部之幹路中以求得之也。

運費 (freights)

鐵路之進款，第一必須擔負最初所用之鉅大資本之利息，於是乃須供給養路之費，準備一筆預備金，以爲清理債務，擴張支路，及發展營業之用。其次則有應需工作之費，處理貨物之費，及當貨物入於鐵路公司掌握之時，其公司對於貨物之損壞所應負責之保險費，除此之外，則又有對於股東之紅利費焉，是以每種運輸之定價，對於以上各項條目之每一項，必須分配及之，而其定價，卽須按照以上各項費用以定之。至於各種貨物，在各項條目下所

應派之稅，則依貨物之性質而各有不同。易碎之物質，須有較細心之照顧，是以較彼不易破碎或不易損壞之物質，其處理之費，須較爲昂貴也。但此種易碎之物質，其重量之體積，通常皆較其他之貨品爲鉅大，且所佔車中之地位，亦須較多也。此種貨物，無論在運送中，及在車站內，皆須有一藏貯之所，且在公司之保險計畫上，須有較大之要求，是以易碎之貨物如傢具等類之稅率，須較高於煤及生鐵之稅率，推稅率之規定，亦須以其競爭之效果而轉移也。此種如煤一般之商品，照例皆用最低廉之運輸法以運送之，因其既不腐爛，亦不須迅速之運輸也，如何處有煤，可以運載，則其煤即可造成一種運河運輸中最重要貨品，雖通常由運河裝運之煤，較之其競敵鐵道所裝運者尙爲少焉，蓋煤之運輸，乃爲一種大宗之運輸，且足使鐵路可用廉價以運輸之，因公司見於由一種大宗之貿易上可以抽得較大之進款，故寧願取一較小之贏利也。

英國之鐵道，與運河相似，係造之以爲無論何人之車輛願意繳付通行稅者之用者；鐵道之贏利，則皆出自此項之通行稅中，是以英國鐵道之收費，乃由通行稅定價率及費用三者而合成者，即暗示一切運輸之貨，皆須按照此種標題而徵稅也；貨物之徵費，皆須分有等類，而現在之分類表，則大都皆根據往昔運河之所用者，此項之分類表，則由鐵路清算處訂定之，而清算處者，乃爲鐵路公司所設立之一種機關，用以處理各公司間關於彼此服務上所發生之糾葛者也。（此種服務乃由通運而發生者。在通運之中，貨物及乘客，係依照一公司之制度而定購全路之票，並用此票以通過其他公司之鐵路焉。）此種分類表業經訂定，以作鐵路上可徵收之價格合法之原理，其中之種類共有 A、B、C、1、2、3、4、5、八種，在 A 類中爲煤、亂石、礦苗、肥料等物；在 B 類中爲釀酒之五穀、銅礦苗、五金、木

料、蔬菜等物；在C類中爲鋼、重大之機器、陶器、鹽、魚、生棉、薄鐵片等物；在1類中爲較輕之五金、及金屬品、用具、煤汽機、做食品之五穀、藏貯之肉食等物；在2類中爲銅器、及輕金屬之器具、機器等物；在3類中爲鉛、皮件、印花布、及厚布、雞蛋、水果、酒精、鐵器、以及小機器等物；在4類中爲裝於籠內之牲口、車身裝在車內之傢具、及鮮肉魚類等物；在5類中爲自由車、樂器、鮮花、及彫花之木工等物。此種鐵路之定價，乃係依據法律，而在一八九四年所規定的，但自一九一三年之後，此種價格已得政府之許可，而准予增加，以爲應付工作上費用之增高焉，而大部分之原因，乃爲工資之增高也。

吾人現在對於某種地上之鐵道制度之形勢，須加以迅速之觀察，學者必須手執地圖集，而細心以研究之也。

北美之鐵路 (North American railways)

北美之鐵路，言之頗有興味：其東部爲一沿海岸之平原，該平原之大部分，則以阿利根尼司山 (Alleghenies) 或同一幹線之山脈以爲其背景焉。此平原之西，則爲中部之大平原，由墨西哥海灣徐徐上升而達於加拿大境，然後於該處又徐徐下降而達於北極之海洋，再西則爲疊障層巒之落磯山，乃爲美國最高最闊之山嶺也，由但維爾 (Denver) 至薩克刺門托 (Sacramento)，其山帶計占經度十六度，或八百五十里，而由喀爾加利 (Calgary) 以至於海，則僅有經度十度，其山帶（在此兩部皆在六千尺高以上）亦稍小，而僅有四百里之闊。所有鐵路，則分布於東部及南部之沿海平原，及中部大平原之上，通過羣山，彼等復伸出極長之支路，以爲往較低之山隘之用。

焉。又在美國东北部之哈得孫摩和克 (Hudson-Mohawk) 及哈得孫 (Hudson Lake) 河占勃連 (Champlain) 山谷，及在英國之哥倫比亞 (Columbia) 內之湯卜遜 (Thompson) 河山谷之重要，必須注意及之。至在北美之西部，彼經過大陸之幹線，則沿縱谷〔意即薩克刺門托 (Sacramento) 佐塊 (Toaquin) 山谷〕或海岸而分出支線焉，其極密之縱橫錯雜之路，多圍繞於各大河，在加拿大一方面，則僅在其東方，此則顯然湖道與鐵路係有同樣之發展也。至實業之區域，則大都在於北緯四十度及五十度之緯線間之一帶，其向西之伸展，則不能過於一百度之經線，鐵道在此地帶中者，縱橫錯雜，可謂密極矣。

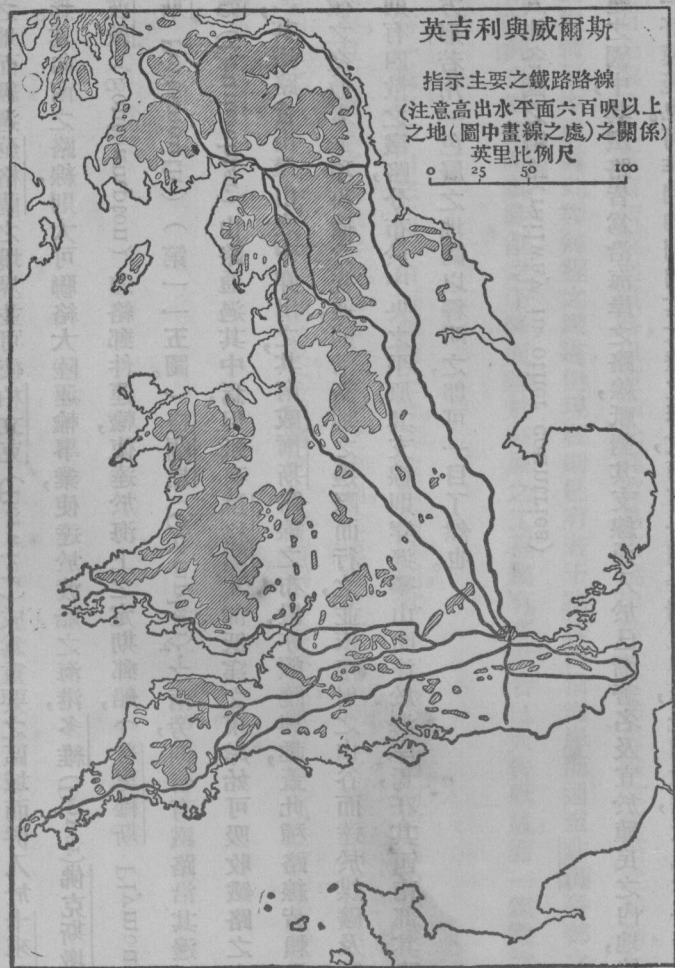
歐洲之鐵路 (Railways of Europe)

北美爲一大而連接之大陸，而歐洲則僅爲歐亞之西半島，且多爲海所切斷，惟此種之海，則可供作通至歐洲中部之路也。其亞細亞之大平原，乃由露西亞而達於黑海，並經過北歐洲而達於大西洋。至其東西之交通，則在北部之並無天險以間隔之者，至於海洋，則在英吉利海峽或地中海，皆可供作較廉之路以備人之選擇焉。是以除東部之外，其最重要之路線，皆由北而至南者，橫過此方向，則有一極大之山巒，但祇有兩度之闊，以較落機 (Rockies) 山則阿爾卑斯 (Alps) 山渺乎其小矣。羅尼 (Rhone) 及多瑙 (Danube) 河在阿爾卑斯山之兩端皆有道路可通行者，且在各山中，亦有不少之山路，足以敷設鐵道，而無多大之困難也。其主要之山路，則爲塞尼 (Mt. Cenis) 山，可以引之由羅尼山谷而達於吐林 (Turin)，其辛普孫 (Simplon) 山，則可伸長路線由巴黎以達米蘭 (Milan)。

此處卽與聖哥忒德 (St. Gothard) 之路線相銜接，然後前進而達於意大利之海港。至布里納 (Brenner) 之山路，則可引導而達於味羅那 (Verona)，塞墨林 (Semmering)，則可伸長澳大利亞路線而至於的里雅斯德 (Trieste)，及亞得里亞 (Adriatic) 也。又有一最要之山障，乃爲高狹而整齊之庇里尼斯 (Pyrenees) 山脈，鐵道並不經過此山脈，但祇在其每端沿彼長狹之海岸地之邊際，由貝雲 (Bayonne) 及聖瑟罷士梯安 (Sebastian) 而至馬得里 (Madrid)，及里斯本 (Lisbon)，並由那邦 (Narbonne)，伯德斯科爾 (Col. de Pertus)，及巴塞羅納 (Barcelona) 而至西班牙 (Spain) 之東海岸。其主要自東至西之路線，則由巴黎依平易之土地而通過比利時 (Belgium) 科倫 (Cologne) 柏林 (Berlin) 列寧格勒 (Leningrad) 及莫斯科 (Moscow)，再沿烏拉爾 (Urals) 之南邊，而銜接於西比亞之路線；及由巴黎依柏爾福蓋托 (Belfort Gate) 而經過於佛日 (Vosges) 及朱辣 (Gura) 之間，然後由該處依萊因河 (Rhine) 之上游，及多瑙谷而至慕尼克 (Munich) 維也納 (Vienna) 及君士坦丁堡 (Constantinople) 之兩線。平原之西部，在德國與法國之北部，以及英國之平原，乃爲最繁劇之部分，而在彼處之鐵道，亦爲最密者也。至東部之大平原，則大都皆爲未開拓之地，但此種平原，乃爲易於敷設鐵路之處，將來可以成爲鐵道之總樞，當可無疑焉。在歐洲缺乏一種延長路線，如北美洲伸至西部之新線，此則二者不相同者也。

大不列顛之鐵路 (railways of Great Britain)

在英國鐵路之中心點，則在於倫敦。密特蘭(Midland)之平原，實為鐵路之總樞，此處有鉅大之實業，及稠密



第一一五圖

之人口，該鐵路之幹線，則依密特蘭蓋托(Midland Gate)而穿過南郎卡邑(South Lancashire)，並伸張而

入於約克州 (Yorkshire) 其向北之路線，則爲盆尼斯 (Pennines) 所間斷，此種路線，依哲維倭特 (Cheviots) 兩旁沿海岸之地而經過蘇格蘭之境界，並可使柏立克 (Berwick) 成爲重要之區域，而併入於卡來兒 (Carlisle) 之路線中焉。其向南之路線，則大可聯絡大陸運輸事業，使達於渡船之海港，多維 (Dover) 佛克斯墩 (Forkstone) 以及掃桑波敦 (Southampton) 連絡郵件運輸，使達於海上之定期郵船，(普里穆斯 Plymouth) 及炮臺也，(樸次茅斯 Portsmouth) (第一一五圖) 格蘭扁 (Grampian) 之兩旁，則皆有鐵路沿其邊而經過之，且有德藍麥克德 (Drumochter) 山路通過其中焉，但祇有蘇格蘭北部低窪之東岸，始可吸收鐵路之交通也。在威爾斯 (Wales) 其鐵路皆由羣山之中穿出之，其南威爾斯路線之布置，亦頗饒興趣，蓋此種路線皆賴沿海岸之平原以求其貫徹之交通者，此項貫徹之交通，則沿高地之邊際而行之，並依輻射之山谷而達於煤礦及實業之區域焉，在愛爾蘭則有四散之鐵路，分布於中央之平原，其支線則穿過羣山而達於海岸焉，在其西南部其路線則成一有規則之長方形，若用一色層之地圖以釋明之，即可一目了然也。

其他各國之鐵路 (railway in other countries)

在新建之國中，其鐵路皆爲沿海岸之路線，祇對其支線通入於已漸著名及宜於殖民之內地，彼澳大利亞之東部，卽爲一好模範也。阿非利加則因其大陸之形式，而有一種特別之興味，此種大陸，大抵爲一廣大之高原，高出海面二三千尺不等，(撒哈拉除外) (參觀第八十四圖) 彼處有一狹而且低之沿海岸邊地，其上有一高原之

巉巖，乃爲鐵道之一障礙也。巉巖之邊，略爲隆起，故河流之欲流過大陸而達於沿海岸之平原，必須有一陡削之下降，因之遂有急湍及瀑布之發生，並能阻礙航路焉。在高原及平原之上，此種如剛果（Congo）之大河，實爲水上貿易之要道，而此處且已築有短程之鐵路，以運輸此種貿易使越出於大瀑布焉。鐵道建築之初期，如在剛果及尼羅（Nile）河之情形中，成爲此種短程之鐵道，但現在則已有若干路線由沿海岸而通至非洲各部之內地矣。且當建築聯絡南非洲之鐵路時，其陡削之下降，而達於高原之工程，業有多處，皆已大告厥成，而一鐵路之總樞，現亦正在從事建築矣。

日本爲一長狹多山之區域，由海面而上升，其狀頗爲陡削，其唯一低下之部，則皆集中於東京，其爲守舊之國家，蓋已久矣，且因其國之天然形勢，及海上交通之便利，遂使其良好道路制度之發展，因之而有阻滯焉。故在日本未有公路制度之前，即有一鐵路之制度矣。其鐵路則大都皆爲沿海岸者，祇有極少之路線，乃係依通谷而穿入山中或經過高山者也。

第二章 交通 (Ocean Transport)

第九章 海運 (Ocean Transport—1)

本章中吾人對於海路交通上天然之情狀，以及人類因此種情狀而採用之計畫，均須一一考慮也；海上交通，包含航路及海港之設備，雖彼廣大之海道不能用標記以誌之，但彼等必須足使吾人知悉而使吾人均得遵循之而旅行也。

海港 (ports)

海港之於船舶，必須給以安全之位置，以爲其停錨或繫泊於碼頭之用，並須有深量之水及免除其航路之障礙；惟此種種，皆須直接有賴於造化之功也。凡海港，若僅爲船隻暫時隱避所之用，則有此種種之便利，可無須他求焉。然爲通商口岸之海港，則必須經營之，使有利於國內之商務及實業也，並必須備有適宜之碼頭及一切之設備，又須有鐵道之便利，以爲國內交通之用，有備辦糧食裝載煤斤之布置，有船塢工廠以及船隻停泊處等，以爲船隻之修理，凡此種種，則均賴人力爲之也。至於船隻之安全，藉天然避風阻海之障礙物以謀得之；故凡圍以陸地之海股，甚至並非深入陸地之內而有深而曲折之海灣，深長之口港，皆可視爲精良之海港。譬如科爾克海港 (Cork Harbour)，腓力海口 (Port Philip)，彌爾福得海灣 (Milford Haven)，挪威峽江 (Norwegian Fjords) 約

克遜海口 (Port Jackson) 以及泰晤士 (Thames) 及福耳司 (Forth) 等等皆是也。又往往有種海港乃暴露於某方向者，則當有大風由該方向吹來之時，則該港即成無用之港，如彼在佛克斯墩 (Folkestone) 者是也。是以凡一海港之最要條件，必須能使船隻可以隱避一般最普遍之風及彼風吹最烈之方向；但除天然之形勢外，亦可用人工建築防浪堤，與在普里穆斯 (Plymouth) 及利斯 (Leith) 等處者相同也。

多數之海港，皆爲有潮汛者，即港內之水深，恆以潮起時之水深爲標準，而船隻之進港或出港，則須在潮漲時始能通過也。茲爲欲船隻繼續漂流於水面起見，則水門及有水閘之船塢，必須設備焉；此種水閘或水門，祇於潮起時最短之時間內始一開之，多數在三角口之海港，而尤以老海港，因欲避免敵人之攻擊，而位置於三角口之上游者，乃有此種有潮之水閘以應付彼創造海港者所夢想不到之近代吃水極深之船隻也。譬如在克萊得 (Clyde) 彼在天然低淺之江河中之大港口之存在，完全須賴於用掘鑿及疎浚之法，而用人工將其河道掘深，及彼因潮水之起落而得之特別水量也。

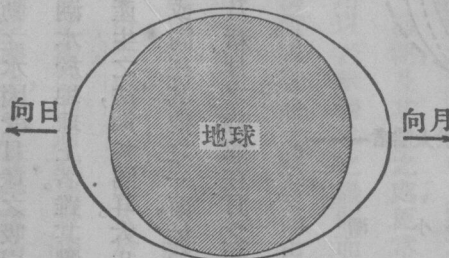
海港之淤塞 (siltng up of harbours)

江河之流行，往往須由陸地帶下若干之泥沙，其流行愈速，則其所帶泥沙之量亦愈多，此種泥沙，帶至河口之處，即行沉落，因河流之速度，流至海中，即行遲緩，而其挾帶泥沙之力，亦即減少焉；故通河口之海港，恆有淤塞之趨向，是以一遇淤塞，即須將其掘深，而後可以存在焉。不特此也，且此種淤塞之物，連同岸上之泥沙，更常爲橫掃河岸

之河流，挾之而同流，並恆停貯於河岸中，及橫亘海口與海灣之沙洲上者，是以遂有多石子沙洲之產生焉。此種沙洲，在英國海岸，恆將圍有陸地之淺湖遮斷其一部或全部焉。〔參觀在波羅的（Baltic）海南岸之沙洲。〕又有多數極有用之海港，恆爲沿岸之潮流所敗壞，因當經過其進口之處，造成沙洲，而其造成之速率，殊有非挖掘之力所能及者，且因此種潮流在沿海岸者非常激烈，故潮之起落，亦甚大焉。大凡有潮流之海港，多有此種不利之處，惟以其他之方面言之，則此項之潮流，亦可將江河所帶下之淤泥沖去，而使河口無障礙也。在彼幾無潮流可言之地中海，及黑海（Black Sea）中之波河（Po），以及多瑙河（Danube）之口，即因無潮流洗濯之故，而多爲沙洲及淺灘所累也。

至於海洋上之路線，則吾人祇知目的地海港之位置，及其危險之所在，即易斷定一種最良及最短之航路，以爲船隻行駛之用焉。惟航海家若欲遵此航路而行駛，必須有羅盤及測程器等之儀器以爲之指導，因其船隻頗易爲風潮驅出於該航路之外，故必須能時時定其位置，以觀其是否行駛於彼適當之航線上也。至其測定位置之法，乃依第二章所討論之法，而用六分儀及地圖上之航行圖以測定之者，此種航行圖即爲航海家所賴以行駛其船隻者也。吾人對於風之問題，已於本書第七章討論及之，而於航行圖一層，亦已於第六章中言之矣；此處所待討論者，則爲潮水及海洋之潮流，羅盤及測程器，以及航海家所用以定其航線並遵之以行駛其船隻之方法而已矣。

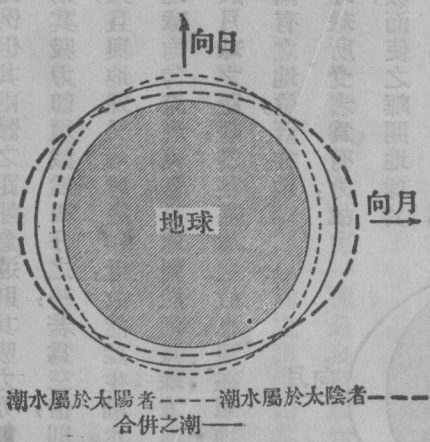
潮水之發生，視乎地球及天體間之吸力而定，不論任何兩體間所以有互相傾向之趨勢者，即因有吸力之故也。其吸引之法，乃物體愈大，則其吸力亦愈大，彼此適爲一正比例，但其兩體之距離愈遠，則其吸力亦即愈小，且與距離之平方，成反比例焉。意即兩體間之距離，若爲二倍之遠，則其吸力即須減爲四分之一，若爲三倍，則須減至九分之一，其餘之數，則可照此以推算之。月球之體積，既如此之大，且與地球，又如此之相近，故能產生潮水焉。假定地球爲一被水所包圍之固體，則水無外面物體之吸引，即須將地球均勻淹沒也。蓋月球對於近月球方面之水之吸力，較之於其對於水底之固體地球之吸力爲大，此則因其對於月球之距離，業經甚遠之故也。現在以地球之全體而言，則因其所受一切天體之吸力，頗爲勻稱，故仍能維持其固有之地位，蓋在地球上接近月球一方面之水，因受月球之吸引，較在水底之固體地球所受者爲有力，故在月球下之水，遂須向外凸出，而固體之地球，則因爲月球所吸，而使之離開地球，其他一方面之水焉。但地球既爲固體，又係堅實者，則被月球引力所吸，必須全體一致，而水則否，蓋彼乃能流動者也。又水因被地球之地心吸力所吸引，故能存留於地球之表面上；實則水須受制於兩種勢力之下也；一爲地球之地心吸力，乃沿地球之半徑而行動者；一即爲月球對於水之吸力，與其對於固體地球之吸力之差數，惟此最後之一種勢力，在一方面須吸引水而使之離於地球，在其他之一方面，則須吸引地球使離於水，而其力之結果，則相同也。是以其兩方面合成之力，即欲吸引在地球兩



第一一六甲圖 春潮

方面之水，使向於彼聯接地球與月球之線上，如第一一六圖之甲圖所示者。然此種流動之水，因受月球之吸引，凡在月球之下之地球上者均向上凸出焉。至於太陽，則為除月球外，惟一天體之能產生潮水於地球上者。雖其體積較之於月，不知大若干倍，但其距離地球既如此之遠，故其產生之潮水，仍屬甚小，惟其產生之法，則相同耳。大凡屬日及屬月之潮水之凸出，除非太陽及太陰與地球同在一直線之上；或同在地球一面，或同在其他之一面，始能發生於同一地方焉。如果遇有此種機會之時，則此兩種潮水，即能互相為助，因之在滿月及新月之時，或在月之朔望，即有大潮或春潮之發生，過此期後，則此兩項之潮水，則彼此互相牽制矣。且彼等之互相牽制，尤多在於日與月適在一象限距離之時，意即當由地球至太陽之線，與由地球至月球之線彼此成直角之時也，此即月在上弦或下弦之時，在此時期內，則又有小潮之發生，其高度約春潮之半；（見一一六圖之乙圖。）又月在一月之中，既有一次之滿月，及一次之新月，則其春潮即為每二星期發生一次，小潮亦每二星期發生一次也。

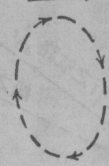
當地球自轉時，地球上之水，亦隨之而旋轉，故其在月球下凸出之部分，顯係循地球自轉相反之方向而環繞地球以運行者，此項凸出之部分，其性質與浪相同，蓋以水



第一一六乙圖 小潮

之大體而言，雖爲無消長者，但其水平面之變更，則實恆有消長也。水之每一微點，大抵皆爲上下移動者，惟在向上行動之時，則須稍向前進，在向下行動之時，則須稍向後退耳。至前進之意義，即係循彼浪行之方向而前行也，此種有潮之浪，在遼闊之海洋中，其浪高僅約二尺許，故在海岸水深之處，其潮水亦甚小，如水淺落之後，則水之微點之較深運動，即易觸及海底而爲其阻力所牽制，其結果即限制其行動在較深一層海中，（第一一七圖）在淺水微點之向下及向下後之行動，須受壓迫，而水即須用其全力而向前行動，而成爲一種白沫，並堆積而成爲一種大浪矣。是以

浪動之方向



第一一七圖
在浪中水之每一
分子之轉動

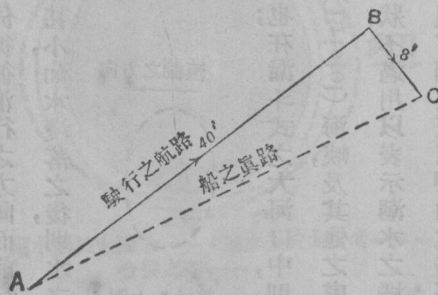
在大伯列顛（Great Britain）之淺海中，往往皆有大潮流及鉅浪之發現也；在漏斗式之大河口，則因其海峽之繼續狹隘，遂使其堆積之進行，逐漸增漲，而發生怒潮，如在布里斯它爾（Bristol）海峽及其他之處，更常有此種怒潮之澎湃焉。地球之形狀，當然非如吾人之所繪畫者，吾人所繪畫之形狀，不過用以表示潮水之機制而已；若吾人能懸想地球實際形狀，則將見大陸伸張如橫過潮流路線之長堤，並強迫該潮流使依彎曲之路徑而由此洋以入於彼洋焉。茲假定該浪乃以太平洋爲其路線之起點，則美洲之大陸，即須強迫其轉向南方而圍繞和倫角（Horn）以入大西洋中，此處該浪即見有最闊之海峽可以容其流入焉，然後再由該處向北，而流入於北大西洋，並由西南曲折而流入於英國之沿岸。至於大潮，則沿英國沿岸而北流，宛如一河流然，並由蘇格蘭之北，而入於北海（North Sea）亦有一部分由英吉利海峽而入北海者。此兩種潮流，挾其由沿岸帶下之沙泥而適相遇於多維海腰（Dover）之外，即彼此牽制而停流，結果則其所挾之泥沙，即行沉下，並停於彼淺沙洲上，遂成爲一著名之

北海捕魚場焉。至潮水圖者，乃表示潮浪之進行者也；其最高之浪，達於每一地點之時刻，及高潮在此地點之時刻，則用等高線式之線以指示之，此線之繪畫，須經過同時有大潮之各地，即謂之同時之漲潮線也。

洋流 (currents)

在淺水中之洋流，大抵皆為潮流，海洋中之表面洋流，則恆為一種浮波也。凡浮波前進須隨風而行，正如一陣小風能掃動水面浪頂也。若在海洋中較深處之潮流，則不與表面之風為同方向矣，但現在與吾人所欲知者，則為後一種之潮流也。

測定水面潮流之簡單法，乃投一瓶或一木片於海中，而注視其所流之方向，然後誌之於圖中，若能將漂浮之物裝以重量，使之適游泳於水之表面水中，則尤佳妙，因如此則當有風之時，即不至直接為風所漂流矣。多少海洋潮流之研究，皆由海面各處擲下若干裝有重量之瓶以為之，惟此項瓶上必須記明其放入海中之地點也。至關於此種瓶之消息，則可由拾起此瓶之船上而得之，并可考察該瓶將其發現之處及其流到岸邊為人所尋得之處，一誌於紙中焉。又有許多關於潮流之消息，亦可由海中船隻之航路以得之，譬如一船由A處起程，依其航程之方向，則應達於B點（一一八圖）但該船於行駛之後本欲達於B處，而其結



第一一八圖
水流對於船之航路之影響

果卻係達於C處，是該船已被漂出於其航程計有BC一段之路矣；由吾人在學校所習之速度組合方法以觀之，則吾人即能立知該船之汽力，能使該船達B處之速力，惟同時該船有一種獨立行動之速度足以將其由B處帶至C處耳。蓋此種獨立之行動，即爲受洋流與風之漂流而發生者，風之漂流行動又稱下風之飄駛也。該船之速力，可假定爲每小時十海里，而AB之距離爲四十海里，至其方向，則爲東北之方向，而該船所駛之時間，乃爲四小時，現在BC之距離爲八海里，而方向則爲東南之方向，故該船之總漂流，乃爲每小時向東南二海里也。倘使下風漂流數及其方向在總漂流中將其除去，則其所餘之數，即爲潮流之速力及方向焉。

普通之海洋潮流 (general ocean currents)

每一海洋，除潮流之外，皆有其一己之流水制度，此流水之制度，乃作大旋渦之形狀，流行於海洋之中，與海洋空氣中之反旋風所行之方向相同。是以在北大西洋則有一依鐘針而轉之旋渦，在赤道以北之水，則向西流成北赤道潮流，然後沿美洲之東岸，而轉向北流，復折向歐洲而東流，該旋渦至此即向南，成加那列(Canaries)羣島之潮流，並與北赤道之潮流相接而成一完全之旋渦焉。在北大西洋中則有一與此相反或與鐘針行向相反之旋渦。又在太平洋中亦有此等相似之旋渦，惟其發展則較爲簡單耳。在北大西洋中其水之錯雜，頗爲著名，此則由於散布該洋之陸地，有以使之然也。在麥卡托地圖中，常使吾人對北大西洋之形狀，發生一種不確之印象，蓋按照麥卡托之畫圖法，南非洲與南美洲尖頂間之距離，及北美洲與歐洲間之距離，須增大不少也。(參觀第一二一圖)在

赤道以北非洲向西膨漲，而赤道以南則南美洲向東膨漲，二者之間造成一海峽，使南赤道之潮流被逼而對向南美洲之東角者，即由此而分裂，並使其一部分潮流向南美洲之北岸，以增大彼北大西洋之旋渦，而此種旋渦之一支流，則依小安的列斯 (Lesser Antilles) 羣島中之各水道，而入於加勒比 (Caribbean) 海中。但此支流，祇有在大安的列斯羣島以北之一狹水道，可使水由墨西哥海灣而流出，故遂有一向外流過佛羅里達 (Florida) 海腰之迅捷潮流焉。此潮流，即謂之墨西哥灣流。彼合力之旋渦，因其係沿合衆國東岸而流者，乃仍爲一定之潮流，然亦可稱爲灣流之一部也。經過歐羅巴洲，則又一表面上又有向東北之浮波，在昔則亦視爲灣流者，但其性質，則與彼沿美國海岸而流者，大有不同，蓋沿美國海岸而流之灣流，其浮波之速率，乃爲每小時二海里，而彼向東北之浮波，即現在所謂北大西洋之浮波者，則每一日僅有四海里之速率也。其真正所謂灣流，則由美國沿岸之附近而流去，及至哈得拉斯 (Cape Hatteras) 海角，即漸漸消滅焉。

此項潮流，在尙未爲吾人得悉如今日之詳細以前，吾人皆以該潮流所經行之航路，頗有規則，正如通過大洋之河道然。但現在則吾人已知該潮流之流行，實爲少有常度及規則者。大抵潮流之發生，昔皆以爲乃完全由於海水之有差異，如因溫度之不同，氣壓有差異，因而如空氣中之造成風然；又以海水鹽質濃淡之不一，或水中有含鹽量之多寡，均與潮流有關。但吾人亦有理由可以信彼表面潮流，乃大都爲風所統御，並依風之方向及其勢力而變化者也。在印度洋中，彼表面潮流，往往隨季候風之方向而轉變。故吾人亦可以謂常度之潮流應隨一種有常度之風而流行，譬如在信風帶之潮流然，而加那列之潮流，即可以證明之焉。但在大西洋之別一方面，吾人又可得一種

與信風相反之猛烈灣流焉，蓋吾人對於潮流之問題，雖尙有待研究之處，但吾人可以有理以信彼風之爲物，對於海洋之潮流，實有莫大之影響，及彼北大西洋浮波之向東北伸張而至北冰洋者，乃因有普遍之向西風覆於其上，而後始有此流波之發生則無疑義也。溫度及鹽質之濃淡，亦有影響於潮流，因冷水較重於熱水，而鹽水較重於淡水，故淡水與熱水皆有浮流於水面之趨向；然冷淡之水，有時亦可較重於熱鹽之水，或較輕於熱鹽之水也。北大西洋浮波之表面水，由低緯度流至高緯度之時，其水頗爲溫暖；及至紐芬蘭 (Newfoundland) 之外，該浮波乃與一冷淡水之表面潮流相遇，卽爲由巴芬海 (Baffin) 之融冰而流下之臘布刺多 (Labrador) 潮流也；此種冷潮流，初則蓋過彼熱而且鹽之浮波，及至向南前進而入於較熱之水中，則此冷潮流又與較彼更暖而向北行之鹽水相遇，而該潮流之水，又須爲該水蓋過，此表面潮流卽消滅於哈得拉斯海角之附近流。

水之由低緯度而流入高緯度者，當然較其所遇之水爲熱，意卽較其所遇之空氣爲更熱焉；是以由低緯度向高緯度流動之潮流，乃爲熱潮流，而由高緯度至低緯度之潮流，則爲冷潮流。此種潮流，對於氣候之溫度及雨水，頗有重大之影響，蓋潮流如係熱者，卽可溫暖彼覆於其上之空氣而增加其吸收水蒸氣之力焉。但吾人不可以爲此種潮流之動作，係與廳堂中之熱水管相同者。蓋潮流之熱，若無風以助之，則不能發生功效也。彼合衆國之東岸，及北歐洲之西岸，同爲熱潮流所流過，但在北歐洲西岸之潮流，則與氣候頗有影響，而在合衆國之東岸者，則無若何之關係矣。因在北歐其普遍之風係向岸吹去，故風經過熱海面以達於陸地者，而在北美則其普遍之風係離岸吹去，而由陸地吹過浮波者也。此項潮流，其自身之溫度，並不甚高，比較緯度之天然溫度，不過略高一二度而已，但其

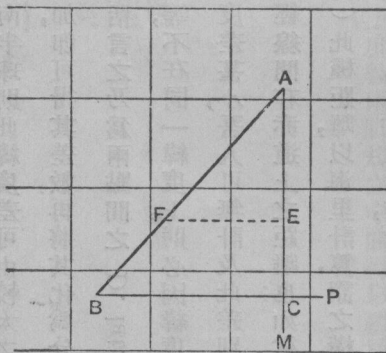
水之比熱，卻可使之成爲一大貯熱之所，並可使之溫暖多量之空氣，以其所放之熱，非常遲緩焉。至熱潮流對於雨水之影響，則可以在紐芬蘭左近大霧瀰漫之情狀以表出之，蓋熱而潮濕之空氣吹過浮波而達於臘布刺多潮流之冷水時，此種潮流，即能使該空氣驟然冷下，并減少其吸收濕氣之力，故其所含過量之水，即凝結而成霧焉。

海道 (sea routes)

大圓圈既爲球面上兩點間最短之路線，則此種大圓圈路線，若爲可以通行者，彼航海家當然須採用也。孫得蘭 (Sunderland) 及蘇瓦 (Suva) (非支 Fiji 羣島) 係在同一經線上者，(假定其爲一完全之圓圈) 意即彼等之經度約差一百八十度，故大圓圈之路線，即爲須通過兩極之經線，惟此種路線，乃爲不能通行者，蓋一種海道，往往須爲陸地所阻而切斷其大圓圈之路線也。如在此種情形之下，則航海者必須採用兩個大圓圈，相交於彼阻礙海道之陸地之最遠一點以行駛其船隻也，譬如由大伯列顛至澳大利亞乃係一大圓圈至開普 (Cape)，其他一大圓圈至澳大利亞，或一大圓圈至巴拿馬，其他一大圓圈由哥倫 (Colon) 以至澳洲。又航海者，亦可離彼可以通行之大圓圈航路之一部分以行駛其船隻，例如由英國而行駛於紐約，此處之大圓圈航路，須經過紐芬蘭以外之多冰及多霧之海中，故必須離開大圓圈航路之一部分而行駛焉。往昔行駛之船隻，不若今日之汽船須裝貴重之貨物及性急之乘客，故多採取羅盤線或麥卡托之航海法以爲其航行之路也。緯線之航海法，係依緯線而行駛者，而平面航海法，乃以地球之一部分爲一平面者，但此種航海法祇適用於較短之海道，對於長距離之海道，

即不適用矣。航海家既多用麥卡托之航海圖，即須常用羅盤線或麥卡托之航海法焉。至其理由，則已表明於第三章中矣。但爲替代由此港至彼港而行駛其全路於長羅盤線上起見，彼須將其航程分爲數段，由其所用之航線上（如有可能則用大圓圈線）以測定，各地之經緯度及依短羅盤線而行駛於各地之間，是以彼乃可以繪畫其航路於航海圖上，如一直線之鍊條，且可不必時時改變其航線焉。因羅盤線愈短，則其改換航線必愈頻數，而與大圓圈亦愈相近矣。

茲爲計算簡單起見，須使所選擇之點，不可相距太遠，以免偶有忽略，地球之彎度，即須發生極大之錯誤也。水道之由此點至彼點者，即爲平面航海法，今假定該水道係由A點至B點，其緯度爲 ϕ_1 ，經度爲 l_1 ，並用第一一九圖以指示繪畫於航海圖上之此種符號，然後畫一AM經線，使通過A點，及畫一BC緯線，使通過B點，而使此兩線相遇於C點，在麥卡托繪圖法中其經緯線皆現出如直線然，而此兩線與在地球上者相同，係彼此相交而成直角者，因之 $\triangle ABC$ 之三角中，其C角乃爲直角也；現在緯度一分度，乃等於在地球上一海里，是以吾人若沿緯度之縮尺用一對兩腳規將AB之距離測量，則吾人即能將其距離分爲海里而計算之。惟在此圖上之經度縮尺，顯然不能適用此種方法矣。如欲求得其航線由A至B之方向，則祇須一量 $\triangle ABC$ 三角，而其距離及方向，則亦



第一一九圖 平面航海法

易於計算也。 \sphericalangle 代表A與B間之緯度差，若兩緯度同在北半球，或同在於南半球，則此緯度差可由較大之緯度減較小之緯度而得，但苟一緯度在北，而其他一緯度在南，則將此兩緯度相加，即可得其差數，再將其化為分度，即可指示A與B兩緯線間之海里距離，此即航海家通常所謂之緯度差，或簡括言之乃為兩點間之 *D. Lat.* 緯度差。至其經度差，則為兩地經線之平面間之角度。此項經度差，若緯線高下不等，不在同一緯度上，則必因緯度之高下而有大小，視乎其沿A或B之緯線而測量者也，但在平面航海法中，其緯度差甚小，吾人可無計及此差別之必要。若將經度差化為分度，亦不能表出兩經線間沿緯度之距離，僅能表示兩經線間在赤道上之距離也；如欲求得沿某緯線之距離，則必須用某緯度之餘弦以乘之，（參觀第一章第十三頁）此種距離，以海里計算，謂之橫距，再以第一一九圖參考之，則吾人可知 ΔO 乃代表緯度差， RO 代表橫距， AB 代表兩點間之距離， $\sphericalangle A B$ 角則為代表航路者，於是

欲求航路則

航路之正切 = 橫距 / 緯度差

欲求距離則

距離 = 緯度差 \times 航路之正割

在海洋航程中，吾人不能假定其航海法乃為平面者，因其兩點間之距離，係屬過大也；然而吾人亦可以同樣之數目字以代表之。如航海圖為正形繪法，則吾人即能測量 $\sphericalangle A B$ 角以求得其航路，惟航海圖上 RO 之距離，係與彼在赤道者相同，故此距離，即為經度差，（*D. Long.*）而 AO 距離，則為屬于午線部分之差數，（代數的）而係屬於某緯度者，可謂之緯度之子午線差，（見第三章六十九頁）於是欲求其航路，吾人即可得下列之公式：

航路之正割 = 經度差 / 緯線之子午線差 (經度差係以角度之分度表明之者)

如欲求其距離，則吾人必須描寫 $\triangle E$ ，使與以哩計算之真正緯度差相配，蓋此距離係較緯度之子午線差為小，因在航海圖中之縮尺，係放大者也，試畫 EF ，使與 BC 平行， EF 以代表橫距， AP 為真正之距離，於是 $\triangle AEF$ 三角中即可求得：

$$\text{距離} = \text{緯度差} \times \text{航路之正割}$$

吾人若欲直接測量該距離，則可照以上之方法，將 $\triangle B$ 之長度置於緯度之縮尺上以比之，但置於縮尺之何處，則為一問題焉。吾人可先求其兩點之平均緯度，意即取 ϕ_1 及 ϕ_2 總數之半數也，蓋此數即為 $\triangle B$ 中間一點之緯度，(在地球上並非在航海圖上) 但吾人必須將兩脚規置於緯度之縮尺上，庶彼兩脚規之中間，得以覆於縮尺上之平均緯度也。

例題 = A 在緯度 $51^\circ 42'$ 北，經度 $7^\circ 12'$ 西
 B 在緯度 $43^\circ 19'$ 北，經度 $16^\circ 54'$ 西

緯度	$51^\circ 42'$	子午線部分	3636.1	經度	$7^\circ 21'$
	$43^\circ 19'$		<u>2889.2</u>		$16^\circ 54'$
			$8^\circ 23'$		$9^\circ 33'$
差數	<u>60</u>	緯度之子午線差	746.9		<u>60</u>

緯度差	503	經度差	<u>$573'$</u>
-----	-------	-----	--------------------------

(1) 航路，對數經度差(對數 573)

2.78815

對數緯度之子午線差(對數 746.9)

2.87326

對數航路之正切

9.88489

航路

37°30'

(2) 距離，對數航路之正割

10.10053

對數緯度差(對數 503)

2.70157

對數距離

2.80280

距離

635.0

故航路為 37°30' 南之西(參考第一一九圖)或 217°30' (真北之方向)距離 635.0 海里。

航海家之羅盤儀 (mariner's compass)

吾人如已得有航路以遵循，尚須賴有航海家之羅盤儀以遵守之，此項羅盤儀含有一半圓形之銅盆，盆底裝以重量，可以旋轉於雙環架上，此種雙環架，當船在海中轉動或顛簸之時，可以使羅盤儀仍可穩定而不動矣；由銅盆之底，則有一銅柱升起，上有欽做之尖端，其硬異常，可以經久不壞，且能永生鏽焉。在樞軸之上，則裝有一顛倒之銅杯，其指示方向之部分，有一瑪瑙或紅寶石之中心點。在此中心點上，則有一紙板（第一二〇圖），係以細

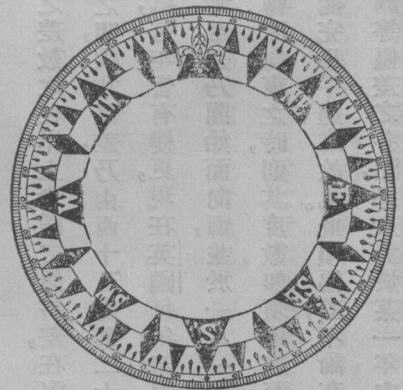
絲線固定於其上者，此紙板爲一薄紙之圓圈，其圈線之上，裝有一鉛做之圈，紙圓圈之中心，可用剪將其剪去，紙圈之下，則懸以磁化針一組，使彼此成爲平行，而一半之磁化針，則須均勻排列於該中心之兩旁。此種排列法，頗爲輕便，排好之後，即將該紙板安置於樞軸之上，不至於受磨損，且易達穩定，較之彼老式之重羅盤儀板，不知迅速幾何矣。又此紙板向下略沉，而使其重心落於樞軸之下，故其得以穩定不動也。紙板之上邊，則按普通之法，將其分爲區分點，且復刻有度數焉。銅盆之中，畫有一黑線，由此邊經過彼邊而穿過樞軸之基脚，此即謂

之魯笨線，其羅盤儀，則須裝置於其上，使此線通過船首至船尾之線中，並可指示其航線於紙板之上。至雙環架，則可安置於羅針箱中之彈簧上，此種羅針箱，爲一站立於輪盤前之半高柱，並附有機件以糾正羅盤儀之指針；在箱之後，則有垂線鉈或測斜儀以指示船隻轉動或傾側之角度焉。

在昔之帆船，其所用之羅針儀，較之現代所用者，殊爲簡陋，其所習用者，僅憑區分點以行駛其船隻而已，此種區分點，乃爲（註一）

四基本方位點，如東，南，西，北是也。

（註一）三百六十度之圓圈中共有三十二方位點，故每一方位點，等於十一度四分之一也。



第一二〇圖 羅針儀之紙板

四象限點，如東北，東南，西南，西北，是也。

八中間點，如北東北，東東北，東東南，等等是也。

十六附近點，如北近東，東北近北，東北近東，等等是也。

凡熟悉此種區分點，即可以順次舉出羅盤上之三十二方位，自有汽船及鐵甲船相繼而出，以及近代光陰之寶貴，遂使更準確之工程，成爲必要之事焉，然有時亦有不嫌其拙劣而仍有用象限之區分點，如東南近東，及東四分之二者，（東南近東之東四分之一方位）但通常之所採用者，則大都皆憑度數而行駛船隻也。

羅盤儀之差誤 (error of compass)

羅針儀之所指者，爲磁性之北，並非真正之北也。磁性北及真北間之差數之在岸上者，謂之傾斜差，在海上者則謂之偏差，在英國中其磁針所指，約在真北之西，十五度及二十二度之間，故其偏差，乃由西十五度至二十二度，而以在英國東南部爲最小，在西北部爲最大也；此項偏差，不論在於何處，每年皆有變更，現在英國每年即須減少六分度至九分度之譜。在一六五七年，其偏差爲○度，蓋以前乃係向東者，至是乃開始而向西，並於一八一六年而達於最大之度數。嗣後繼續減少，將至一九七七年爲止焉。及其偏差仍轉而向東之時，則其度數即須增加而至二二九〇年爲止矣。此則因磁極圍繞地極而旋轉一圈，須六百四十年始能完畢一週之故也。此項偏差，不論在於何時，皆用等角線示明於特別之航海圖上，此種等角線，須經過地球上所有同等偏差之各點，吾人對於某一年中，若能

知其偏差之數及其變化之率，則其相隔之時期，如不甚久，即易求得以後每年之偏差，但其相隔時期如較多於十年或十二年之久，則其變化之率，即易發生極顯著之差誤矣。如偏差之數，已爲吾人所悉，則將真正之方向，改爲磁性之方向，或將磁性之方向，改爲真正之方向，即甚易焉。然此則須在航路設定之後以爲之，而此項航路，且須曾經計算過者，因吾人在計算之時，則須用真方向，但以羅針儀以遵行航路之時，則用磁性之方向也，學者宜將其簡單之規條，一詳思之。

偏差向西則加於真正之方向，而減自磁性之方向。

偏差向東，則減自真正之方向，而加於磁性之方向。

庶可將真方向化爲磁性之方向，或磁性之方向，化爲真方向也。

但航海家計算真方向時之差誤，不僅偏差一端，凡曾經使用羅盤儀之人，必能得悉每一羅盤儀必有其自身之額外差誤也。但船舶之自身，亦往往有引起差誤之可能，而尤以鐵甲船及裝有機器之船爲甚焉。若將軟鐵一塊，置於磁經線內以錘之，則該軟鐵，即變爲磁鐵，彼船在製造之時，必須置於一方向中，而受繼續之錘擊，故該船亦遂因之而成爲磁化矣，至其磁極之位置，則多以其置放之位置爲標準。船舶自入水而任運輸之後，即須由此處而至彼處，並須受制於浪之打擊及其他之衝動，因此該船舶乃成爲一常常變更磁極之磁鐵，即能影響於羅盤儀，使之常有變動焉，惟其影響之一部分，則可爲置於羅針箱內及圍繞羅針箱之機件所消滅，然此種機件，必須時時整理之，以爲應付該船磁力變化之用也。第一羅針箱內，須置有一組小磁鐵，其置放之方向，均各不同，而其目的，則欲與

該船之永久磁力相抵也；第二在羅針箱之各方，與羅針儀相平之處，須有一熟鐵之球，遇必要時，且可將其移近於磁針或遠離於磁針焉，故一方面船身之鐵，欲保持其磁力，一方面熟鐵之球，則欲以其所受之磁性力以改變之，因之船之磁力有變更，則球之磁力亦即隨之而變更矣；最後在羅針箱之基腳內，或在該箱前面之銅管中，又有一熟鐵之桿直豎於其中，此即謂之細桿，其用意則與鐵球相同，乃欲消滅該船磁力之變化也。但此種機件，祇能減少而不能消滅羅針儀之差誤，且其磁性北與真北之間，即其偏差亦已加入，計算之後，恆有一種差數發生也，此即謂之向歪差，此種向歪差，時時皆有變動，亦依船之移動及船頭之方向而有變動也，欲避免此種向歪差所發生之困難，其惟一之方法，乃將其差數時時測量而記錄之，此則須用擺動船頭之法以爲之焉。在海洋之中，吾人可用天文學之觀察，以求其地平經度或船頭之真正方向，而羅針儀之度，亦須同時記錄之。若已將真正之方向，化爲磁性之方向，並將其偏差加入計算之後，則其真正之磁性方向及羅針儀所示之方向間之差數，即爲向歪差。此法可將船頭換過幾種方向而繼續行之，此即爲羅盤儀之各方位；至擺動船頭四字之名詞，即指此項船頭之變更也。向歪差之數目，可依羅盤儀所指定之方向列表以記之，此法或可於航海家不能察覺其偏差之處而爲之，則彼航海家必不能不以彼真方向及羅盤儀之方向間之差數爲羅盤儀之差誤焉。若船舶駛行於已有詳細航海圖之地，即不必用觀察以求其地平經度，蓋該船之位置，或可割切而繪於海圖之上，而其真方向亦可藉觀察岸上顯著之點以求得之也。此種顯著之點，即爲顯示於海圖上者。

17' 西，或加 180° 以得

尋常之方向 226°17'

偏差 (航海圖上考) 19°45' 西

磁性之方向 (總數) 246°02'

羅盤儀所示之航路南 59° 西，即 239°

羅盤儀之向歪差 7° 東

此向歪差所以加一東字者，因羅盤儀所示之航路，乃向於真正磁性航路之左，而羅針儀所示之北，則向於真正磁性之北之右或東也，其船上羅針儀所示之航路，及真正之航路間之差數，則謂之羅針儀之差誤，並可謂之東差誤或西差誤也。

例題 由觀察而得之真航路 北 16°43' 東

羅盤儀所示之航路 北 41°30' 東

羅盤儀之差誤 24°47' 西

此種差誤，所以謂之西差誤者，因羅盤儀之航路，係向真航路之右而計算者，或真航路係向羅針儀所示之航路之右而計算者，如其偏差已知為西七度十五分，則向歪差即為西十七度三十二分矣。

例題 指定一羅針儀之航路在真方向東 41°30' 南，其偏差又向歪差為

17° 東及 29° 西 (畫一小圖表以做例題乃為最善之計劃)

真航路 東 41° 30' 南

偏差 (減) 17° 東

磁性之航路 東 24° 30' 南

向歪差 (加, 因其為西也) 29° 西

船上羅盤儀之航路 東 53° 30' 南

凡向歪差較小於半度，則實無求得之必要，因在航路上行駛船隻，其方向之差別，不能小於半度，而羅盤儀之精密程度亦不能依賴至如此之小度數也。各項例題，如用第一式以演之，並將其方向由北方依鐘計行向而計錄之，則恆較其後二式為清晰，但其後者之方法，卻對於航海家似較為普通焉。

船隻所行之距離，則用測程器以測量之，惟此項之測程器，有時亦間有沿用老式者，此種老式之測程器，含有測程板測程線及測程之貯沙杯，此項貯沙杯與彼用以計算煮蛋之時間者相似，猶為吾人祖先時所傳下者也，其用於海上者，則須構造之，使其沙足以流過，須經二十八秒鐘之久焉，但現在則皆用表以代之，鮮有用此貯沙杯者矣。其測程線則捲於一捲絲軸上。此種捲絲軸，現在則多裝有制動機者，在此線上每隔四十七呎四分之一，則結一結節，每一結節，即為船行每小時一海里速度時二十八秒鐘之距離。但何以須採用此二十八秒之理由，則不得而知之，此種結節，即在黑暗之中，亦能察覺，故當杯中沙流出之時，該結節通過之數目，往往頗易計算，而此結節之

數，即可直接示明船之速度焉。至測程線之末端，則可牢繫於測程板上，此板含有一圓平木板之弧三角，沿有彎曲之一邊，則注有重量，故該板始得直立而流於水焉。板之下隅，具有兩孔，測程線則始終牢繫於一孔之中，其他一孔，則安一木釘，其上繫以附於測程線上之短繩，故測程板得與船所行駛之線，彼此相交而成直角，且因被水力之所阻，即當該船駛開之後，該板何能保持其原狀而不動焉。於是一人手握捲絲軸，使高出其頭頂約一臂之長，其他人則將測程板由船尾擲下，並使測程線經過其手而流出，俾可計算其結節，其第一結節之發現通常約離測程板一百尺或一百餘尺之譜，庶其結節，不至落於船行後之水痕中之紛擾之水中，並於貯沙杯尚未轉過以前，即可開始計算也。及至沙已流出之時，則祇須將附於測程線上之繩一拉，即可將木釘拉出，使其測程板翻落，而與航路相平行，且使其可以易於拖至船邊焉。然在現今之世，則已有登記專利之測程器起而替代彼老式之測程器者矣，此種登記專利之測程器，含有一銅圓筒，上有傾斜之翅，裝置於圓筒之各面，如輪盤之螺旋葉然，此圓筒則向船尾而拖曳於一編好而不能解開及不至纏紐之測程線上，筒上之翅，則可使圓筒旋轉，而其旋轉之速率，則須視船行之速率為標準，此種轉動，則可直達於測程線，而該線之上，又繫有一節動輪，以使其轉動穩定焉。在船尾突出之部，則裝有一指示器，其上附有捲曲之測程線，該線在指示器內可以轉動一組之齒輪，將船行之每海里一一記錄於一羅盤上，此種羅盤之記錄，必於某一定之時間，一為計算之，然後其平均之速度，始能推得也。晚近以來，該指示器多用電氣以聯接於測量導體之阻力器上，並將其各種指示傳遞於該器，而在大船之上，此種電氣之安置，不但可以直接計算其所行之距離，且可計算其船之速度。如在指示器上已示有航路及距離，即彼航海家即可於經緯表

上以求其經緯度上之變化焉。此種經緯表，又名經緯線差表，可在各種數學表中以求得之。該表之每一頁專載羅盤儀每度或四分之一點方位角之數目者，在每頁之第一行列有所行之距離，且與經緯線差相對而係以海里計算者。

例題—船在南緯度 $29^{\circ}13'$ 東經度 $104^{\circ}29'$ 。行駛一距離依羅盤儀航路 299° 為 $191'$ (即海里)
 試由此航路及距離用推測法以求得船之位置 (即其新經緯度)，其偏差則為 17° 西；向歪差則為 3° 東

羅盤儀之航路

299°

向歪差東(加)

3°

磁性之航路

302°

偏差，西(減)

17°

真正之航路

582° 或 75° 西(註一)

由表中緯線差數，及經度差項下，已知航路為 75° 距離為 $181'$ ；求得緯度差為北 46.8 哩而經度差為西 174.8 哩也。

(註一)表中所示航路，僅至九十度為止，故此項航路必須記明北之東或西，或南之東或西，但依該表之排列法，則決不能以東之北或南，或西之

緯度之差數，等於北（註一） 0° 度四十七分，是以該船即在南緯度二十九度十三分，減 0° 度四十七分或二十八度二十六分。如欲求經度之差數，必須回憶經度一分之經度差以海里計算者，乃為緯度之餘弦，（第二三二頁）故吾人必須用緯度餘弦以除緯線，或以緯度正割以乘之，亦屬相同也。但吾人所知之緯度有二：一即起首之緯度，一即終了之緯度也。且此經度之一點，與彼經度之一點間之差數，亦皆與吾人有關，故不若採用平均緯度之正割為愈也。

緯線差之對數 (174.8)

2.24254

平均緯度正割之對數 ($28^{\circ}40'$)

10.05679

經度差之對數 (以分計算)

2.29933

經度差為西 $199'$ 或西 $3^{\circ}19'$

船之終結經度 ($104^{\circ}29' - 3^{\circ}19'$) 東或 $101^{\circ}10'$ 東。

故用推測法算出船之最後之位置為緯度 $28^{\circ}26'$ 南 $101^{\circ}10'$ 東也。

吾人尤應注意者，則為測程器之所示僅有船隻經過水中之速度。是以凡一船隻，如依照測程器上係在向東船路上行駛五十結節，但其經過之水自身若向西行動為五結節，則船之速度，實僅有十結節。而其經度，（若該船係圍繞赤道而行駛者）每點鐘僅變更十分也。故用推測法以定船之位置，及由觀察而得之位置間，因有潮流及

（註一）該航路使其船隻向北之西而行駛，即一部向西一部向北，是以緯度及橫距之差數，乃為西與北也。

浮波之故，恆有一種差數發生，而此種差數，且可為研究海洋潮流之資料焉。

附錄 潮水之計算法 (一) 潮水之計算法 潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

吾人欲求潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度，可根據潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度，而計算其潮差之大小。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

潮水之計算法

一、潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

二、潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

三、潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

四、潮水之計算法，係根據潮水之漲落，而計算其潮差之大小，及潮水之漲落時間，及潮水之漲落速度等。

第十章 海運二——國際貿易 (Ocean Transport 2: International Trade)

在中古之時，海運一事，對於歐亞間商品之交換，實有密切之關係也；其主要之路途，首須經過地中海，而蘇彝士 (Suez) 之地峽，則適與在紅海 (Red Sea) 中印度之海上貿易，成爲一陸上之聯絡，是以往昔之路途，實爲現代用以與東方交易之捷徑。自土耳其 (Turks) 人佔有地中海東部之要點以後，而此至東方之門戶，遂因之而封閉矣。但東方之商務，對於西歐，實甚重要，因在嚴冬之際，西歐之食品，不論其於人畜，皆甚缺乏。當近代貯存蓄糧之法，尙未發明以前，而欲避免牲畜之餓斃，則惟有將夏間之草，曬之使乾，肉食之物，則醃之以鹽，然後儲之以爲冬季之用耳。東方之香料及調味品，乃爲西方人用以烹調此項儲存肉食不可少之物品，因而此種貿易，亦遂爲一種有關命脈之貿易焉。是以地中海東部之門戶，既已爲土耳其人所封閉，於是西方人不能不有另覓他道以通此出產香料之地之必要，而大航程之發明，亦遂因之而開始焉。然其時雖於東北及西北之水道，曾爲多方之探索，終不能闢一通於東方之新路，惟其結果，則已促成阿堪遮 (Archangel) 之建立，及與俄羅斯之貿易矣。而一面則可爲成立北冰洋 (Arctic) 之鱈魚漁業場之發軔，一方面則有美洲北部之發明焉；即以哥倫布 (Columbus) 之勇敢向西之計劃之所以視爲無上之大功者，亦並非因其發明新路以通至供給香料之發源地，乃因其發明一新世界也，惟有葡萄牙人之依南美洲海角而行之航程，始得重與東方之印度相交通耳。

海運者，乃爲國際貿易之總樞也，惟此種貿易，仍須以各地不同之情形爲標準耳。第一卽爲各地財源間之差異，蓋各地之中，有富於礦產者，如南非洲，則爲產金之發源地，他如煤油則產於美洲及羅馬尼亞（Rumania），洋鐵則產於馬來羣島（Malay Archipelago），至於英國，則爲富有煤礦之地，曾爲歐洲大陸用煤之總發源地，已不知若干年代矣。又植物之生長，亦因其地而不同，而其所以不同之故，則有關於氣候者，有關於地勢者，亦有關於其他之事物者。高山峻嶺之區域，則不宜於耕作之農業，但此種區域，則恆爲森林叢集之區，且多材木之實業，因其對於林木之養成，實最爲適宜，是以吾人所用之材木，大都得之於瑞典（Sweden）、俄羅斯（Russia），及北美洲之荒野，及多山之處者也。至各種不同之氣候，則各有其特別之植物產生焉，譬如由坎拿大及北美，則吾人可得大宗之麥，由南美洲則可得大宗之生棉，而在中古時之英國，則可仰賴於印度而得其香料焉。

又各地實業之發展，亦各有不同，當美洲之移民尙屬稀少之時，彼等皆囿居於其東部，而以田獵野獸及摘取森林之果實爲生活；其後東部之地，因人口之增進，遂一變而爲農業之國家，而田獵之事，亦遂移至西部之邊境，至現在則更退而至於極西極北之處矣，其耕種之事，則退至於北部草原之地，東部之國家，則皆從事於工業之製造焉。其初吾人由北美東部所輸入之貨，多爲皮革、樹膠及藥材、香料之類，其後始有米麥之輸入，至於現在，則已有製造物品之出口矣，但此種變化，則大都皆隨人口稠密之變化而發生，因一國之中，如已充滿人口，則其已國之生產，卽不足供給其國之人民，甚至製造之原料，亦時有告乏之虞焉，彼等之所賴以爲生活者，則在藉製造之力，而將各種貨物改變之，使成爲精良而有價值之物品。是以英國之輸入品，已有若干年所，皆爲食品與原料，以及一部分之

製造品，而其特著之輸出品，則純爲製造品也。此項之製造品，因加有製造之工程，故其物品之價值，遂因之而大增。是以有一大部分之輸出品，多爲再輸出之物品，卽多數地方輸出之原料，亦往往皆有此種情形也。因吾人常用此種之原料，以爲使吾人之資本工作，及實業機關之代價，得以出售之工具，故欲求得吾人真正及純淨之輸出品，則必須減去其原料之重量及價值而計算之，其所餘之數，則包括本國所供給之原料，如煤之類，以及所述各種不能預知之價值焉。吾人所居之國，乃爲一輸出吾人工作之代價，連同海運之國際服務，商業之經理職務，及吾人所創之可信託之商業名譽之國也。至於新建國家之海外貿易之出口貨，則頗爲巨大，然大抵皆爲食品及實業上之原料，有多少地方，其所輸出者且直接爲天然之出產焉。惟一立國久遠而富於實業之國家之出口貨，則多爲組成者，人造者，及價值昂貴者也。最後則有種族之差異，德國之製造物乃係藉科學而顯其特性者，法國則以機智及風趣爲特性，至於其他人種之工作物，則皆以奇巧爲特性，而多數之自由貿易及國際之競爭，則皆欲消滅此種人種之差異，而使一國之生產，得以出售於他國焉。機械可以消滅技藝之差異，文化之傳播，可以化除人民間之差異。而新建之國，則人口漸可蕃殖而成爲工業之國也。是以國際貿易之最後兩種原因，現已消滅無存，而第一種之原因，則可斷定其爲將來一種有主宰權之原因焉。凡一國家，恆有求得食品及原料之必要，有機械力之國家，則多欲趨向於製造之工作，其別種之各國，則爲積穀倉及原料之供給者。譬如中國，乃有極大之礦產者，雖其國土之大部分，仍將爲農業之場所，而其可以成爲工藝之國家，則可斷定也。至其現在之輸出品，則大都仍爲食品及原料焉。瑞士雖富於鐵礦，但其煤礦甚少，故亦爲供給原料之發源所，西班牙 (Spain) 亦同一現狀。

此種國家特別之情形，祇因現代海上貿易之發展，而後始能實現焉。至往昔之船貨，僅爲一種少數貴重物品之分類物，因此種貨物，始足以擔任彼永久而昂貴之運輸費也。若以現在而論，則一全船之貨物，或可爲純一之價廉物品，即運自地球之最遠處，亦不至因運費之重大而使其賣價增加焉。其實由遠處運來之外國物品，或可使國內出品之售價，因之而低廉，如美國之麥然，且可使美國之農業，因之衰落焉。在陸地之上，則必須有鐵路以利交通，而貨物則除運費及公費之外，尙須付入口稅，以爲造路及養路資本之利息；及更大之運河維持費。惟海洋則可毋須費用，海上之競爭亦可毫無限制，而各城鎮，則因其自身之利益起見，莫不供有海港終點之設備也。至現代行駛船隻之方法，則已使吾人得盡海洋之效用焉。

增加船隻之大小，乃爲近代普通之趨向，因兩隻小容量之船，其建造及航行之費用，須較一隻兩倍大小之船爲大也。至船隻大小之限度，則視乎貨物之額數爲標準，海港及海峽處，可用之水量深度，往往可以限制船隻之大小，但水量較深之海港，亦常常可以求得者，是以主持海港者，多有急急於取得此種顯明之利益，而從事於增加其所用之水之深度，於是彼進步較少之海港，則必須日漸消滅矣。彼布里斯拖海港之貿易，即因近代船隻吃水之增進而大有減少之趨勢，並使利物浦及其他之海港坐而享受其利益，故其結果，遂使該港，必須於亞馮茅資 (Alford-mouth) 及坡提斯 (Portishead) 海等處而建立水量較深之外港矣。自機器推進之法引進以來，而船程來往之日期，及其不準確之弊病，即因之而大減，並使所需船員之額數，亦可以減少焉；迨有汽油以代燃料，及發明內部燃燒之機器發明以後，則船員之額數，益可減少，而貨物所應負之工資，及火食之價值，亦可減少矣。

航路及無一定航路之運輸事業 (line and tramp traffic)

海上之運輸事業，共分兩種：一爲航路之運輸事業，則以定期郵船裝載之，此種郵船，其船程有定，航路亦有定也。一爲專僱之運輸事業，則以無一定航路之貨船以裝載之，此項貨船，乃專向有貨物可裝之處而行駛，並在開放之貨物市場以競爭貨物者也。彼有規則之航路運輸事業，雖爲一般人所注意，但世界運輸事業之大量數，則多以無一定航路之貨船以裝載之也，彼等所載者，尤以食品及原料之大宗委託貨物爲多數，且此種貨船，僅能爲彼預備滿載一船貨物之裝運貨物者所僱用也。當彼有一種貨物裝載時，彼卽兜銷於一有船舶經紀人之公司中，蓋此種經紀人之事務，乃在視察世界之市場，及探悉何處有貨可裝，而尤以當船舶脫卸貨物於隣港之後，須在何種海港可以裝得船貨之事，因合乎經濟學之運輸，必須每一船舶，恆在僱用也。若該船舶將貨卸落之後，必須自一海港駛往一遠處之海港，始有貨物可裝，則其運費之價率，僅足以償此種無利益之航行之代價矣。又一船舶，與其行駛空船而回，毋寧裝載運費最低之貨物，猶可以補償租船之費也。譬如在麥熟之時，多數船隻，皆用以裝載美國之麥，以至英國，其由英國輸出之貨物，則皆爲製造之貨物，而此種貨物，通常皆不當作大量之委託貨物以裝載於貨船，而常以定期郵船裝載之者，故其結果，遂使此項運麥之船舶，難於覓得運回之貨物，是以此項船舶，有時祇得裝運煤斤基石或其他類此之材料而回至美國。雖此項貨物在其本國，亦多有供給，但較無貨可裝而僅攜壓載物以歸，且須支付裝卸此項壓載物之費用，則已爲愈矣。煤之運費，既如此之低廉，故由英國運至美國市場之煤，竟可與其

國內之出品相頡頏焉。蓋載運貨物，使橫過大西洋而達於三千哩以外之費用，猶較少於裝載此同樣貨物至數哩以外之鐵路運費也。

此種大宗無一定航路之船貨，祇裝至於某一國之一二大海港，然後由此種海港以沿岸行駛之船隻，或以鐵路及運河而分送於各處，但現在海港之改良，彼沿岸之行駛，亦可用行駛於大海中之無一定航路之貨船以行駛之矣。進口貿易之集中，乃因市場之集中有以致之，譬如蘭開邑（South Lancashire）地方，現在為世界製造棉花之大區域，是以在利物浦及後在曼徹斯特（Manchester），對於生棉一項，皆有一種活潑之市場，凡裝運棉花之人，最易得悉在一競爭劇烈之市場，必有善價而沽之最好機會，故往往皆將其貨物完全裝運於此種地方。而一般購貨者，亦皆知悉，至一有多數貨品可選擇之市場，以購買貨物，乃為聰慧之舉，且在此種地方，又最易購得價廉物美之貨物，是以亦皆羣趨於利物浦焉。因全歐棉花之供給，皆須輸入於該地，然後分售於各國也，此種貿易，則謂之商場貿易。倫敦久為世界第一之商場，因此乃為英國各殖民地輸入貨物之天然商場，亦為財政之中心點，在於此處之有資本者，可以從事於鉅大之事業，而英國及英國之殖民地，以及外國買主賣主之經理，又皆聚集於該地也，是以其他之海港，對於此項獲利之貿易，當然非常豔羨，而頗思有以染指於其中也。然現代之進化，已可為彼等努力經營之一助，至此種努力之經營，即指海港之便利，及海岸船隻之設備是也。茲因各國既有各大工廠之掘起，故大市場如利物浦之棉花市場之規模者，亦遂因之而成立，而位置優勝之海港，如安特衛普及漢堡者，亦已成爲商場矣。但地方分權，業經超出於此點之外，而商場貿易亦愈擴大焉。蓋世界之市場，因處於電報權力之下，現均分

散成爲各國之市場矣。當船貨尙在海上之時，各經理家即已忙碌於該貨物之推銷，而其船貨如爲棉花，則在市場上已得該貨裝出之日期，即可以之而售賣焉。假定船隻將由摩比爾 (Mobile) 起程，而至普里穆斯 (Plymouth) 以求定貨物，則歐洲之經理家，即可得該船出發之報告，或可即將其貨售之於漢堡之商人，然後電知在普里穆斯之信號站，及至船抵該處之時，即可接得訓示，而駛至漢堡以交貨也。又無線電報可以免除船至海港以求定貨之需要，而市情之報告，如用電報送出，即可無須維持售貨經理人之必要，蓋彼裝運貨物者，祇須坐於其辦公處，即能得悉歐洲之市況，並可以無線電報以與其貨船通消息，直至其目的地業經決定之後，即可令其船貨提至彼貨價最高之市場以求售焉。

運送貨物之市場 (freight market)

運送貨物之市場，或僱用船隻之市場，乃爲國際之市場，正與麥及棉花之市場相同，因其所遵循者，爲同一之方法也。至船貨之運費，其上落甚大，譬如麥係產生以供給於西半球之國際市場者，且在不同之氣候，如埃及 (Egypt) 及印度及坎拿大等處，亦皆有之，是以其輸出之時期，因產麥國中收割時期之不同，而亦有差異，總以何處產麥多，則各船舶即羣趨於該處焉。試以澳洲之麥言之，其麥之產生，頗有變化，在歉收之年，則船隻之數，恆超出於貨物之上，是以對於裝貨一層，遂須起有劇烈之競爭，而運費亦即因之低落矣。若在旺收之年，則不同，一般裝運貨物者即須爭僱其船隻，以運其貨於市場，而運費即因之而增高焉。大凡此種運費之空想，則皆爲收穫報告之傳播所統

御，惟船舶經紀人對於此事頗有研究，而交通之改進，及商業組織之完善，皆足使供給產麥海口之船隻可以支配之，使適合於貨物之供給，蓋定期郵船之公司，見於無一定航路貨船既起有如此劇烈之競爭，遂有一定航路之貨船之組織，因之立可減少無一定航路之貨船之數目，而使運輸貨物之市場，得以穩定焉。當此項貨船正在投機而起之時，一般買貨者之趨向，亦遂咸趨於購買較少之貨物矣，因此項貨物可以使彼等得以節省在岸上重大而愈多之棧費，且可減少資本之攔起，因此種資本，僅在使貨物銷去之時始能獲有報酬也，又此項裝貨郵船之有規則的行駛，及其所裝之委託貨物之爲少數分類之貨物，並可使彼等得有迅速交貨之利益，且可較爲平安也。

定期郵船，乃依照有一定之航路而運載乘客及貨物者，其所停棧之處，僅在收貨及交貨之數海港，其所載之貨物，則爲分類之貨物，是以彼等所載貨物，皆爲不足裝載於無一定航路之貨船之商品，彼等所裝之貨物，大都爲價昂之貨物，如製造品及珍貴易損之物品，以及一切須速遞交之商品也。至此項貨船之宜於運載工藝區域之出口貨，及新建國或農業國之進口貨，正與彼無一定航路之貨船之宜於運載大量製造之進口貨，或新建國及農業國之出口貨相同也。彼等亦與無一定航路之貨船相似，恆有用作特別之目的，如設置散熱之機器，及隔電之船艙以爲運載肉食及熱帶之水果者，或可以之專供一種單獨商業之用，如彼專載大量石油之油船然也。至彼等之稅率，則按貨物之種類而定之，其所根據，乃爲每四十立方尺之空處，得裝一噸之貨物，故輕而鉅大之商品，在其重量上所付之稅率，恆較多於重大之商品，但依照貨物之性質，亦各有差異焉。因之各種易於毀壞並須小心處理之製造品，其運費即須較大，至於爆烈物，氧素，並其他有危及於船舶及其餘貨品之貨物，則亦須課以較高之稅率，又運

費一項，亦須視其航路爲標準，有若干航路，須較其他航路爲危險，則其船隻及貨物之保險費，即須較爲昂貴，而此項費用，即須由貨物擔負之，若在常行之航路，則裝貨之競爭，必較劇烈，其結果，則運費即須低落矣。但除此之外，亦有不少破格之運費也。蓋有一種鼓勵特別運輸之事業，以爲培養商業之志願，亦爲若干商品之運費所以低廉之原因，但此種特別之稅率，在該商品之需要時期已過之後，即須停止也。更有某種之委託貨物，亦可按照一種特別規定之運費以運送之，而其運費之變更，則時時可藉裝運船貨者之建議以定之，而此種建議則往往根據於彼相類貨物之前例或其運費也。

海道 (ocean routes)

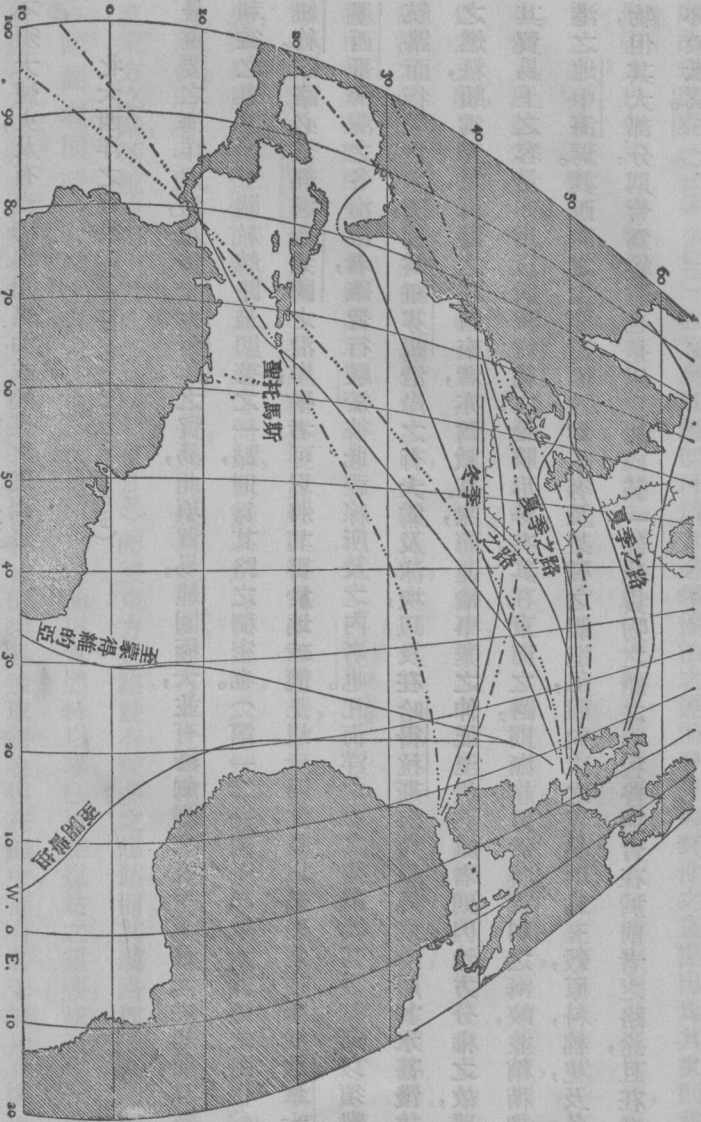
決定海道航路之第一要素，乃爲聯合兩點之大圓圈，蓋即兩點間最短之路途也。大圓圈雖爲模範之道路，然亦可用前數章所述之種種理由而修改之，此外又有兩特別點，亦須加以考慮焉：第一期郵船欲求得彼等之貿易，不能僅由一海港而得之，必須環繞若干之海港以求得充分之貨物及乘客也。是以由蘇彝士河而行駛之澳大利亞航路，須經過科倫波 (Colombo)，有時則須經過孟買 (Bombay) 以及澳大利亞之佛利曼特勒 (Fremantle)，阿得雷德，新金山 (Melbourne) 及悉尼 各海港焉。乘客則往往皆喜陸地之旅行，而以愈長爲愈妙，是以此種航線，必須經過於馬塞 (Marseilles)。至於郵件，因欲求速之故，亦願由陸地運送，而以陸運愈長爲愈妙也。歐洲遞送東方之郵件，須由陸地而運至布林的西 (Brindisi)，但與其使航線經過該處，則無寧另設一補助之海程，使

由該處而達巴賽 (Port Said)，而定期郵船，即可於其必須停泊之運河各港，將郵件之袋提出焉。其次則爲燃料之問題，吾人已知煤之爲物，乃爲一種貨物宜於無一定航路之運輸事業者，因此種貨物祇求運費之低廉，而不計其交貨之速也，定期郵船裝貨之地位，固較無一定航路之貨船之裝貨地位爲有價值，但彼亦必須裝載一定量數之煤也，然其所載之煤斤，即以每兩之微，亦皆可以增加其可寶貴之輸送力者，故其運費雖低，而其價值，則仍不讓於其他之貨物，是以其所裝之煤愈少，則其所航行之路亦愈少，亦即爲其所能尋得無須再行裝煤之最短路途也。節省經濟之煤站，乃爲定期郵船可以裝煤之處，此種煤站，大都爲無一定航路之貨船所供給，而定期郵船，即可在其航程中得以時時而裝煤焉；雖其在亞丁 (Aden) 所付之威爾斯 (Wales) 煤之費，較其在加的福 (Cardiff) 所付者爲多，但其由英吉利地方因少裝煤而多裝貨物而得之附加運費，即足以補償其損失而有餘，是以其航路之一部分，須以煤站之位置而斷定焉。煤站之問題，對於其所遵循之路，及應採用運河之路，或應純採海洋之路，實有重要之關係。若有一路，其便利之處，並不甚大，則因煤站之問題，即可使之轉用他種更有利之路焉。譬如由蘇彝士河而至東方之路，須較由海角及巴拿馬 (Panama) 而至東方之路，設有較多之煤站，而其航路，即須採用運河之路矣。（請讀者同時參觀第二百六十頁）蓋自引用煤油以爲燃料以來，已可使煤站之重要，減至極小之程度，因裝於煤箱之煤，須多佔該船有用之地位，因其與貨物相似須易於取得也。但在船中，亦有若干無用角隅之地位，往往多爲壓艙物之桶所佔據，是以煤油既係由氣管而通至爐火之處者，則其無論安置於船之何處，皆無若何之關係，而煤油之池，即可造於現在所謂無用之地位焉。不特此也，且尙有多數之煤油可以裝載於壓艙物之桶中，因

此種壓艙物之桶，當出空之後，即完全無用也。是則船上之裝煤及裝貨之地位，雙方皆因用煤油之故，而可增多不少，而船之依賴於煤站之處亦可減少矣。又引用內部燃燒之機器，亦可省去地位，以爲裝載貨物之用，因此種機器可以不須大爐火，及有汽機與用煤油或燒煤之汽鍋也。

北大西洋之貿易 (North Atlantic trade)

最重要之海洋貿易，乃爲北大西洋之貿易，此項貿易，範圍極大，並有極劇烈之競爭，及最大之船舶，且爲一種最有利益之事業焉。至關於航路最顯著之一點，則爲其路之稠密也。(第一二一圖) 試取大圓圈之路由蘇格蘭以至紐約。該路必須經過合衆國之沿岸，學者可以將其畫於地球儀上以示明之，是以船舶之往來於坎拿大各海港，及墨西哥海灣之各海港者，確皆行駛於彼此視線所及之內者也。凡海洋之中，其阻礙物甚少，其所以須離開大圓圈航路而行駛之主因，則爲紐芬蘭沿岸之有大霧及冰塊，以及在哈得拉斯海角以外之沿岸，其水甚淺故也；在兩岸之燃料，頗爲充足，海港之在西南者，亦爲數甚衆，而運輸事業之伸展至於該處者，則因地方分權之故，雖不能減少其貿易上之容量，亦足以低減紐約之優勝形勢矣。其在東面之路，則漸趨近於英吉利之海峽，並稍稍趨近於通海港之地中海焉。其西向之主要運輸，乃爲乘客及某種之製造品，而向東之貿易，則爲五穀，原料，棉花，及各種之製作物，但其大部分，則皆爲機器也。是以空船或裝一部分貨物之船之行程，普通皆在於前者之路途，且在此路其運費亦較低焉。



第一二一圖 以聖三夫蘭斯提繪圖法所繪之北大西洋之地圖以指示主要之貿易路 比例尺 1 : 90, 000, 000
 注意 所示東西之方向皆為準確者與緯線成正角時所測得由某緯線與點之距離亦係準確者祇在經線 40W 乃為東
 北之方向指示如在正角者然

大圖四 (1) 英吉利海峽至新奧爾良……一六圖四 (3) 直布羅陀海峽至哥倫……

(2) 英吉利海峽至哥倫…… (4) 直布羅陀海峽至哥倫……

貿易路線——飄流冰塊之經常範圍

太平洋之貿易 (Pacific trade)

太平洋之貿易，須經過地中海，和倫敦，及海角等處，亦可依巴拿馬運河而發展，並因之而可增加北大西洋貿易之容量焉。又有多少沿美國，大西洋，墨西哥海灣及太平洋沿岸之貿易，則皆以沿海岸之輪船由美國沿岸之心點而輸送之。

至兩大運河之勢力問題，則在此處，頗有興味，蓋蘇彝士運河之勢力，則已早為人所知悉，而巴拿馬運河之勢力，則至今仍無定限；但亦可以同樣之考慮以斷定之也。

運河貿易之費用，所以須較多於海洋貿易者，實有種種之理由。因巴拿馬運河之開掘費，連同運河帶內之費用，及其他一切之費用，須費八千萬鎊以完成之，此項鉅款之利息，假定以三釐半計算之，則其進款上，每年所任之負擔，須達三百萬鎊之譜，或七百萬噸之噸位，每噸須負六先令而強之擔負焉。此種噸位，則係依一九一九年所經過之船隻而計算者，對於此數之上尚須加入修理與管理費，及該運河每年所付給巴拿馬政府之費用，庶可以定該運河應當徵收之通行稅焉。其實該運河平均之通行稅，乃在一元之下，約計為三先令四辨士之數，但此數尚未包括船中輸送物或運費之價值也。又在運河之航行中，其船隻之危險，須較在大海者為大，是以其船隻及貨物之

保險費，亦因之而較昂焉。但此種增加之費，必須與在較長之航路中所受時間上之損失（及賺錢之量）連同在長途中所多耗之火食，及工資等費相對照也。茲吾人假定一隻八千噸之船，可以任其選擇運河或較長之航路以行駛之，彼之通行稅，則約計爲一千四百鎊，其一切附加之費用，則約計爲二千鎊，則運河若使其於時間燃料及工資等費上可以省下一總數，不至較上數爲少，彼必採用運河而行駛焉。倘彼係運載乘客及快遞之貨物者，則即使運河使其所省下者遠不若該數之多，亦必採用運河而行駛矣，因彼可以徵收較高之價格也。至於無一定航路之貨船，照例係不裝運快遞之貨物，故彼等必須該運河可以使之獲得他種利益，然後可經運河而行駛焉，但此事則須視其所節省時間之重要與否爲標準，如商務活潑，則其所省之時間，對於無一定航路之貨船，即頗有價值之可言，因其運費亦可較高也。但彼至太平洋美洲之貿易，則可斷定其必須經過運河也。因其所省之距離，由利物浦至舊金山 (San Francisco)，可超過三千五百海里，至法爾巴來索 (Valparaiso)，亦可超出一千五百海里焉，是以定期郵船每時行十五海里，即可減省十日及四日之航程。無一定航路之貨船，每小時行十海里，則可減省十五日及六日矣。至於歐洲至亞洲之貿易，則蘇彝士河之航路，乃爲最短者，但巴拿馬之航路，則可使美國輪船至馬來羣島以外之海港，得以省卻其航程至四千英里之遙，而由威靈敦 (Wellington) 及新西蘭 (New Zealand) 以至利物浦，則由巴拿馬河，較之由蘇彝士運河，可以約近二千英里，故一切航線，業皆遵依此路焉。至於澳大利亞之貿易，若僅以悉德尼而論，則鮮有在巴拿馬運河者，因由蘇彝士運河而行駛，即可減省三百哩。但由蘇彝士河而至阿德雷德，則其差額，約可在二千五百哩之譜，若至紐約，及澳大利亞，則已由巴拿馬運河爲較近矣。至其差數，則

對於阿得雷德爲一千七百哩，對於悉德尼，則約在五千里。

在大圓圈航路上以英里計算之距離表

	航 路			
	開 普	和 倫	蘇彝士	巴拿馬
倫敦至孟買	10,900	—	6,200	—
„ 科倫波	10,406	—	6,600	—
„ 新加坡	—	—	8,150	—
„ 上海	—	—	16,450	14,620
„ 橫濱	—	—	11,180	13,040
„ 悉得尼	12,660	—	11,600	12,205
„ 威靈敦	13,160	11,970	12,810	10,900
„ 舊金山	—	12,000	—	8,100
„ 法爾巴來索	—	9,000	—	7,420
紐約至橫濱	—	—	14,000	10,200
„ 悉得尼	—	—	14,400	9,600
„ 威靈敦	—	—	15,670	8,010
„ 舊金山	—	12,000	—	5,290
„ 法爾巴來索	—	8,300	—	4,600

一九一八年至一九一九年各國船隻行駛於運河之表

國 別	蘇 彝 士 河		巴 拿 馬 運 河	
	號 數	總數之百分數	號 數	總數之百分數
英國	697	56	623	31
美國	3	—	839	42
那威	24	2	124	6
瑞士	15	1	—	—
丹麥	11	1	74	3
德國	74	6	96	5
意國	141	11	—	—
西班牙	11	1	—	—
希臘	95	8	—	—
荷蘭	1	—	16	—
日本	158	13	75	4
智利	—	—	78	4
祕魯	—	—	61	3
其他各國	11	1	89	4
總數	1241		2076	

亞細亞之貿易 (Asiatic trade)

亞細亞各國之貿易性質，對於運河之問題，頗有一種有興味之效果，因此項國家，可以由彼立國較久之國家，得有一大量之進口貿易，但出口貿易則甚少也。是以吾人可以得見環繞世界之貿易航程之復活，當可無疑焉。蓋一切船隻，皆將依蘇彝士河而向東行駛，經由亞細亞而至亞美利加以裝載其船貨，如昔時之船隻然，但此種船隻，並不向蘇彝士運河由原路駛回，乃繼續向巴拿馬運河而前進者，因此可以節省時間，且可獲得裝載多量之美國裝箱之煤之利益也；此種情形之適用於定期郵船，較適用於無一定航路之貨船為尤甚，蓋後者僅滿載船貨至一海港，而前者則須經過無數海港，且在每一海港之處，一面須卸貨，一面須進貨焉。

蘇彝士運河較長於巴拿馬運河，約為一百與三十五之比例，但其所徵之稅額，則僅五先令一噸也。蘇彝士運河普通皆可減短東方之路途，但其最大之節省，則為至阿剌伯 (Arabia) 及印度洋之航程，至其所以不能獲得東方貿易之專利，則可於大多數之貿易，仍係行駛於海角之路以見之。因蘇彝士河有一種不便利之處，即其水深僅有三十四呎，凡吃水三十呎以上之船隻，即不能行駛於其中，而巴拿馬運河則最淺之處，亦有四十一呎之深度焉。但蘇彝士運河沿其全路，則有多數煤站之設備，以輔助之，實有使地中海各海港之聲望，得以復活之效果，因此種海港，自土耳其其佔據東方國土之後，即已衰落也。

地方貿易 (Local trade)

地方貿易，雖不及長距離之貿易之活潑，但亦甚為重要也。譬如在澳大利亞，即有一廣大之沿岸貿易，又有適

用於海洋貿易之大輪船，行駛於澳大利亞及新西蘭各海港之間焉。此種貿易，可用世界之大航線以鼓勵之，甚而可以運輸之也。至其對於世界之大航線，有如設備支流，以供大船行駛之用然，又近代各公司，多有不專務於一種貿易航路之趨向，此則可於各公司之常常互相連合，或合併以知之。坎拿公司現已不再專務於北大西洋之貿易。彼已吸收數種其他之航線而成爲一種大英船務之聯合公司焉，則其有利，亦甚明矣。因在一單獨之航路上，若因收穫不豐，人工困難，或其他種種之原因，而致商業之停滯，則在於一專務於一種航路之公司，必須受有極大之影響矣。貿易之中，又常有一種時令之變化，在收割時期之後，一國之五穀出口貿易，或蔬菜，原料，貿易，必甚活潑，但在一年中其餘之時期內，即漸漸衰落，並成爲無足輕重之貿易矣。專僱之船，可以自由以裝運貨物，但有定期之貨船，則不敢忽視其對於時令上之航路也。凡公司之服務於數種航路者，當其他航路成爲黯淡之時，可以賴其紛忙之航路以挹注之，且可將其船隻由此路移至彼路，以補助享受時令興盛之路之經常業務也。又在第一等航路上之船隻，及其業務成爲廢棄之時，則此項船隻，即可轉運而用於第二等或第三等之航路中，惟其最後及最妥者，則爲各路間之合作，俾可獲得各處通運之利益，而使一支線得以爲其他各路之支線也。英國之船隻，並不完全用作英國貿易之用也，其中約有四分之一係永久用於外國海面者，而多數之船隻，則皆純粹供用於國外之支路，彼亨堡亞美利加公司亦然，皆曾於遠處之海中，而作成極多之地方貿易也。

附錄 (Appendix)

下列之作成或未作成之例題，不但欲與學者以練習之機會及使其對於此書得以較為明晰而已，且欲誘掖之使對於本書所未及載之事亦得以稍稍研究之。此種例題，雖須略解數理，但亦不足深慮！奉勸學者，務須忍心耐性，將所有一切例題，皆認真研究一過，將其對於各項例題之分解，使之整潔而有次序，並將其所得之結果，筆之於書，然後保存其全部之紀錄，以備他日之用，譬如應用於重習此書之時是也。惟學者切不可急於翻閱答數，多數例題，皆須自出心裁以爲之，若能用二種或二種以上之方法以達到真正同一之結果，則較抄襲他人所作之答案，必能更有興味，及更有心得矣。

第一章 (Chapter I)

(一) 一兒童伏於一大小適中之湖或海灣之堤岸，將其眼置於該水之水平面處，而觀看一豎於對岸水濱之柱，則該兒童可以得見該柱幾何？且如何始能得見該柱之全部？試繪一圖以說明之。

(二) 倘攜一漆有六吋闊之黑白條子之長杖而至第一問題中所述之湖或海灣處，以證明地球係在南北及東西之方向而曲折成弧形者，則將如何進行之？此時若假定有一雙眼望遠鏡可以看清該杖上之黑白條子，則又

將如何以計算其曲折之數目耶？（此爲野外之練習，學者不妨切實以試之。）

(三) 茲有一水手，立於一高出海平面六十五呎之定期郵船之甲板上，水手之身高，不能確定其爲多少；祇知其眼之高出於甲板爲五呎，其視線之所及適可望見一在地平線處之船及在該船以外之一百呎高之燈塔之頂，試求該水手與燈塔及船之距離。（茲畫一圓圈將其中心點 O 以代表大圓圈，在該圓圈之平面中，則爲水手之視線，以 P 爲在此大圓圈上之船之位置，然後接連 OP 並引長之，使達於 E ，於是 OP 乃爲垂直之線，而 E 卽可以代表水手眼睛之位置，在此情形中， PE 爲七十呎，可簡稱爲 h ，再由 E 畫一 EB 線，使與該圓圈相切，於是 B 卽爲該水手所能望見之最遠之點，故卽爲船之位置焉。又將 EB 延長而至 L ，並畫 OL 使與圓圈之周線相交於 Q 。於是 QL 在畫圖之縮尺上若爲一百呎，則 L 卽爲燈塔之頂，試以 QL 爲 h ，卽大圓圈之半徑，而以地球之半徑爲 R ，其 POB BOQ 爲 a_1 及 a_2 ，則 $\cos a_1 = R/(R+h)$ $\cos a_2 = R/(R+h)$ 吾人既求得 a_1 a_2 及得悉大圓圈之一度等於六九·一五海里，則 PB PQ 之長度，卽爲船及燈塔離開水手之距離矣。）

(四) 茲有數人，其眼之高出海平面各爲五呎，二十呎，及三十呎；試問各人在海上之表面地平線之距離爲幾何？又在每種情形中其地平線之小圓圈之半徑爲幾何？（圖中 EB 係畫以用於最後之練習者，卽爲視線；此種視線，當眼睛繞過地平線時，須掠出於一圓錐體之弧面，並不仍留於同一之平面中， BM 垂直於 OE 之線上，乃爲該圓錐體底之半徑，卽表面地平線也。但其故何在？）

(五) 試求北六十一度，南三十七度，北二十九度之緯線之半徑；又求此項緯線之長度，及其沿每等於經度一分之距離，並須皆以海里計算之。

(六) 新奧爾良 (New Orleans) 及埃及 (Egypt) 之開羅 (Cairo) 皆在北緯三十度，彼等之經度爲西九十多度，及東三十一度十七分，試求彼等相距之距離。其距離則須沿緯線以海里測量之也。

(七) 鄂大華 (Ottawa) 在北緯四十五度二十分，試求一偏於鄂大華之南約二千四百二十三海里之地方之緯度；而至於其最近之分數並於君之地圖集中以求得最近該位置之城鎮！

(八) 在一張夠大之紙板上，試畫一圓圈，使其半徑與所見之地球儀相同，然後圍繞該圓圈週線之外，畫一有度數之縮尺，畫時須極其仔細；若該圓圈如果夠大，則將每一度數再分之，然後將圓圈剪下，並用所留下之圈，以測量由倫敦至一、紐約，二、橫濱 (Yokohama)，三、悉尼 (N. S. W.)，四、開普坦 (Cape Town)，五、巴拿馬，六、倍諾斯愛勒 (Buenos Aires) 之大圓圈距離，(角度距離) 並將此項距離化之成爲海里，然後又測量由開羅至新奧爾良之大圓圈距離，以與第六題中所得者相比較之，並釋明其差異之點焉。

(九) 用最後問題中所剪下之圈，試畫由倫敦至伯斯及至西澳大利亞之大圓圈，並將近於該大圓圈之重要地方，皆一一摘錄之。

【答案】

(三) 九及二十海里，十法定英里三分之二，及二十三法定英里。

(四) 二英里四分之三，五英里二分之一，六英里四分之三，半徑相同。

(五) 三四六〇，三一六〇，一九一八，二一七四〇，一九八五，二二〇五，一〇二〇，九二〇，五六法

定英里。

(六) 七二六三。

(七) 北十度十八分。

第二章 (Chapter II)

(一) 試由君之地圖集中摘錄：

(甲) 在伯列顛羣島 (British Isles) 中貼近於倫敦愛丁堡 (Edinburgh) 厄克塞忒 (Exeter) 及伯爾發斯 (Belfast) 之南北各重要地方。

(乙) 在歐羅巴洲中將近於嚇爾 (Hull) 之南，及倫敦與波爾多 (Bordeaux) 之東各重要地方。

(丙) 在北美洲中屬於聖約翰 (St. John) 及新不倫瑞克 (New Brunswick) 之西及紐約與舊金山 (San Francisco) 之北各重要地方。

(11) 由君之地球儀或地圖集中，試計基拉尼 (Killarney) 芝加哥 (Chicago) 凡庫非 (Vancouver) (B. C.) 聖地牙哥 (Santiago) 智利 (Chile) 浦那 (Poona) 東京 (Tokyo) 香港及基督堂 (Christchurch) (N.Z.)

各地之經度，並求其在每處之格林威治 (Greenwich) 正午時之地方時。

(三) 試以君之地球儀及紙板圈，(第一章第八題) 而斷定最後問題中所列各地之緯度，使之愈準而愈妙；並求其每處在地方視正午，在春秋分，及冬至時之太陽地平緯度。

(四) 船主司各脫於一九一二年三月二十七日沒於南緯度七十九度四十分之處，此時之太陽適在赤緯北二度三十四分，試求其處在此日正午時之太陽地平緯度並斷定其於夜半時究在地平線之上，或在地平線之下；及其上下所差之數究爲若干，可繪一準確之圖以說明君之答案，並將君之計算所得之角與由該圖上所測得之角以比較之。

(五) 由君之地球儀中，試求罕麥斐斯特 (Hammerfest) 之緯度；並用航海家之曆書以斷定其在二十四小時中太陽繼續在地平線上及在地平線下之時期，試問在該處其他之時期中，其太陽之行動如何？

(六) 在中夏之日，彼日晷儀之針影，乃爲該針一半之長，試求其位置之緯度焉！

(七) 下列各項觀察，乃在赤道以北之某地所察得者。

太陽之赤緯爲北十三度二十一分〇六秒，試求該地之經緯度，並將其位置規定之。(用一圖表以求其最大地平緯度之數目及時間，然後以此項數目及時間，用第三十七及五十三頁所載之法以求其經緯度焉。此

格林威治時	威觀	沿察	地之度		
			太陽緯	度	秒
21	08	14	38	46	30
	12	36		47	15
	17	04		47	55
	20	56		47	50
	25	00		47	00
	27	45		46	20

法乃爲一簡陋之法，但以之求緯度。則較求經度爲佳，試問其故安在？

(八)茲有一金牛星座之經緯儀，觀察近於其南面（上層）之轉鏡儀，編差爲北十六度二十一分十五秒。

先求出觀察地之緯度，及由觀察地至 P. O. 之方向，試問此項觀察

足以求得經度否？若時計上之地方平均時較之格林威治之平均時慢六小時一分十二秒，則其經度爲幾何？及該地係在何處？若其觀察係在上層轉鏡儀之北者，則該地之經度將爲幾何？

(九)試立一表以表明每一緯度之緯線，在春秋分時之太陽地平緯度，又對於夏至，亦試照樣爲之。

(十)試求二十九圖中之時帶邊際地方平均時之標準時之極端錯誤，（例如較格林威治慢四小時之大西洋時，用於在西經度五十二度五十四分之聖約翰及紐芬蘭 (Newfoundland) 地方，在此經度上，其地方平均時較在格林威治者慢三小時三十一分三十六秒，是以標準時較地方平均時須慢二十八分二十四秒焉。）

(十一)茲有一由倫敦發來之電報，標明爲上午十點十五分所發者，而收到之時間，則爲翌日上午五點十三分；假定其傳遞所費之時間爲十分，而收到電報地點係用地方平均時者，試求其地之經度。

地方之 平均時	觀察 之 時	垂直 之 度	直 之 分	圓 之 秒	在橫平圓圈上之度數					
					在星			在 R. O. 者		
					度	分	秒	度	分	秒
7	34	67	42	30	84	56	15	3	19	20
	39		43	25						
	43		44	05						
	47		44	10						
	50		43	35						
	54		42	15	176	01	00	94	23	30

(十二) 茲有一旅客，假定彼極星係在天極者，並由彼之地平緯度而斷定彼在緯度四十五度七十七分之處，在第二日彼乃爲一太陽系之觀察，而此項觀察之結果，表明彼之緯度，乃爲四十四度〇八分，試解釋其差異之點及求該極星之斜度爲若干？如該星之緯度爲四十四度五十分，則其故安在？君於求斜度時應如何假定之？又該緯度爲南緯度，抑北緯度耶？

除做此項例題之外，學者必須以此種可用之儀器以觀察時間經度，地平經度，及緯度等等，如彼若無經緯儀或六分儀以資應用，則可用一簡單之經緯儀或測斜儀以爲實地練習之用，惟其所得之結果，不免稍欠準確耳，若無他種器具可以求得之，則學者宜做一日晷儀以用之，至其觀察，則須在同一地點費數日之光陰以觀察之，然後將其屢次所得之結果，列於表中，並將其差誤之數目，一計算之。

〔答案〕

二及三題，北二十五度〇三分，西九度三十分；北四十二度五十分，西八十七度三十七分；北四十九度三十分，西一百二十三度；南三十三度三十六分，西七十度三十分；北十八度三十一分，東七十三度五十五分，北三十五度四十分，東一百三十九度四十八分；北二十二度十六分，東一百十四度〇九分，南四十三度三十分，東一百七十二度三十分，上午十一點二十二分，上午六點〇九分，上午三點三十八分，上午七點十八分，下午四點五十六分，下午九點十九分，下午七點三十七分，下午十一點三十分，垂直距離等於在春秋分之緯度餘角，及等於在冬至之二十三度二十七分而弱。

(四) 在正午則高出地平線七度四十六分，在夜半則在地平線下十二度五十四分。

(五) 緯度北七十度四十分，由將近五月十六日起至七月二十六日止，太陽繼續在地平線上，由將近十一月十八日至正月二十三日太陽繼續在地平線下，在其餘之時期中，太陽每日起落如常焉。

(六) 緯度南或北七十九度四十五分，

(七) 阿堪遮 (Archangel) 北六十四度三十三分，東四十度三十三分。

(八) 聖路易 (St. Louis) 密蘇里 (Missouri) 及美洲之合衆國，北三十八度三十六分，西九十度十八分，
方向九十八度二十三分，緯度南五度五十六分。

(十一) 西七十八度。

(十二) 偏差北八十八度五十一分緯度北。

第三章 (Chapter III)

(一) 繪圖法是何物？在地圖集地圖上之網線，有何用處？

(二) 試查閱君之地圖集中之各地圖而決定每一地圖應用何種繪圖法以繪之；然後摘錄君之意見及彼繪圖法所根據之理由，又於每事件中試考慮其所以採用此種特別繪圖法之理由，並舉示一二變換或較好之方法以替代之。

(例如哪威及瑞典之地圖，同心圈之緯線弧，其間之間格，似皆相等者，經線則爲直線，向北集合而達於在緯度九十度以外之一點，此一點卽爲各弧之中心點，其繪圖法乃爲一簡單之圓錐體法，且須含有一二標準緯線，因沿近圖之中心點之緯線之縮尺，係較小或相等於沿彼經線者，但該地圖之縮尺或可甚小竟至不易測量也。

(三)對於一張合衆國之地圖，試以一等於三千萬之縮尺而構造一含有一標準緯線之簡單圓錐體之地圖網線，乃於標準緯線或於其相近之處，插入六個地方，又於中央經線處亦插入六個地方，再由君之地圖集中，將其大略約略繪入之，並置箭形物於圖中以指示在洛桑磯 (Los Angeles) 及新哈文 (New Haven) 康滔狄格 (Connecticut) 所吹之東風，及在底特律 (Detroit) 及西雅圖 (Seattle) 所吹之北風焉。

(四)在影寫紙上試畫一與第三題中之面積相同之麥卡托地圖，其緯線在第三題中選作標準緯線者，在兩圖上必須皆爲同等之長度，試誌明其同等之地方及風，而將第二圖使適合於第一圖上，然後解釋其不能適合之難點，並將該二圖概括而比較之。

(五)試以三千萬分之一之縮尺，依據本納 (Bonne) 氏之繪圖法而繪歐洲之地圖二幅。

(甲)用格林威治之中央經線。

(乙)用彼得格勒 (Petrograd) 之直線經線，而該地圖必須繪畫於影寫紙上也。

然後將第二圖配合於第一圖上而比較之。

(六)試以適宜之縮尺，依據天頂式之等距繪圖法而繪畫一北極區域之地圖，並將各重要探險家所遵行之

路途插入之。

(七) 依據平射畫法之繪圖法。而繪一南極區域之地圖，試將此圖與君之地圖集中之地圖比較之；並與用麥卡托繪圖法所繪之世界圖上之同一區域之圖畫一併比較之。

(八) 在君之依據麥卡托繪圖法所繪之世界地圖集地圖上，試測量其赤道之長度，並將其代表分數斷定之；又測量在任何經線上依次相繼之緯線間之距離，及在每緯線上任何依次相繼之經線間之距離，然後并用已經斷定之代表分數乘此項距離，以求彼等代表在赤道之縮尺之距離；於是乃將所得之各項結果列入於一表，並於每一結果處書明其在地球上之相等距離。(第一第二表及第七第十三頁) 並對於每一結果，須將其放大之尺度求得之，亦將此數列入於表中，試問其所引出之事實如何？(參觀第五九頁及第三十四圖。)

(九) 在君之地圖集中之世界氣候，及植物生長法之地圖，係依據何種繪圖法而繪者？君須用此同樣繪圖法，一方面用之於指示風及潮流之地圖，一方面用之於雨水及植物生長法之地圖否？圓筒繪圖法，通常頗適用於此種地圖，試問此種繪圖法，是否常為最適宜之法耶？

(十) 茲有一張澳大利亞圖，須用二千萬分之一之縮尺者，試選一繪圖法以繪畫之，並說明其選擇之理由。

(十一) 試由君之地圖集中將依據麥卡托繪圖法而繪之世界地圖，細細影寫一過，若其緯線係每隔十餘度而畫一線者，則可插入十度二十度三十度等等之緯線，否則可於赤道南北每隔五度之處，將緯線插入之。

(十二) 試繪一依據摩爾威 (Mollweide) 之繪圖法而繪之世界地圖之網線，採用一種縮尺，可使赤道約為

十五吋長，並於每隔十度處將經緯線插入之。

此項有用之繪圖法，繪之亦不甚難，其網線包含於一橢圓形中，其長軸則兩倍於短軸之長，在一百廿二圖中， $NFGG'$ 爲一橢圓形，而較橢圓形一半面積之 $NHSG$ 圓圈，則代表一半球，若 R 爲地球儀之半徑，則圓圈之半徑 r 則爲 $\sqrt{2R}$ ，因此項繪圖法，係屬等積者也。（見第六十八頁）圓圈繪好之後，即須將緯線繪入。此即爲本問題中最難之部分，因此項緯線，必須繪之使其相隔之距離，仍能使該圖樣不失其爲等積也。

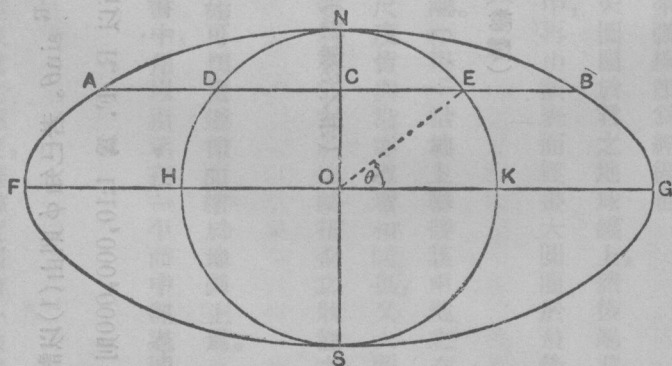
在此圖中，以 AB 爲緯度 ϕ 之緯線而稱 FOK 角爲 θ ，在第八十四頁中，其在地球儀上緯度 ϕ 之緯線及赤道間之面積，乃爲 $2\pi R^2 \sin\phi$ ，此則必與在圖樣上之 $AFGB$ 之面積相等，且兩倍於 $DHKE$ 之面積，而 $DHKE$ 則兩倍於三角 OCE ，並兩倍於弧三角 OKE 焉。現在

$$OKE \text{ 之面積} = \frac{0^*}{2\pi} \pi r^2 = \frac{1}{2} r^2 \theta$$

$$OCE \text{ 之面積} = \frac{1}{2} r \sin \theta r \cos \theta = \frac{1}{2} r^2 \sin 2\theta$$

$$\text{於是 } \pi R^2 \sin \phi = r^2 \theta + \frac{1}{2} r^2 \sin 2\theta = 2R^2 \theta + R^2 \sin 2\theta$$

$$\text{是以 } \pi \sin \phi = 2\theta + \sin 2\theta \dots \dots \dots (1)$$



第 一 二 二 圖

* θ 係依圓圖測量者

又在圖樣上由赤道至緯線之距離為 OC ，而 $OC (= X) = r \sin \theta = \sqrt{2} R \sin \theta$ 。若已知 ϕ 則由(1)以計算 θ 則頗為不易，但由 θ 以計算 ϕ 及 X 則甚易焉。譬如 θ 為十度而以 $R. F.$ 為 1:10,000,000 則 R 即為 25.065 吋

(見第十六題乙)

於是 $\theta^* = 0.1745$ 由表中得來

$$2\theta = 0.3490$$

$$\sin 2\theta = 0.3420 \text{ (非 } L \sin 2\theta \text{)}$$

$$\pi \sin \phi = 0.6910 \text{ (總數)}$$

$$\text{對數 } \pi \sin \phi = 9.8395$$

$$\text{對數 } \pi = 0.4971$$

$$\text{是以 } L \sin \phi = \frac{9.3424}{\quad}$$

$$\phi. \underline{12^\circ 43'}$$

$$\text{對數 } 2 \quad \underline{0.3010}$$

$$\text{對數 } \sqrt{2} \quad \underline{0.1505} \text{ (對數 } 2 \text{ 之半)}$$

$$\text{對數 } R \quad \underline{1.3991}$$

$$L \sin \theta \quad \underline{9.2397}$$

$$\text{對數 } x \quad \underline{0.7893} \text{ (總數)}$$

$$\text{差數} \quad \quad \quad \underline{x \quad 6.1611}$$

緯線須每隔緯度十度而繪畫之，而 x 及 ϕ 則必須因等於五度，十度，二十度，以至九十度之 ϕ 以計算之，此項計算所得之數目，必須將其彼此對向而繪之於四方之紙上，然後繪一草圖，由此項草圖上，則 x 之數目，即可因所求之

ϕ 數目以記錄之，至 x 之正當數目，則已安置於 W 之線中，其緯線則繪成直線使與 WQ 線相平行，而此項緯線在圓周外之部分，必須使之與在圓周及 W 之間之部分相等，然後畫一光平之弧線，使經過緯線之兩端，即成爲一橢圓形矣；緯線若已分作三十六等分之後，則彼連接此種相配之分點之光平弧線，即爲經線也。

(十三) 試用第二百七十二頁第八題之法，繪一經過東京及紐約之大圓圈於君之地球儀上，然後竭君之所能，而將該圓圈切過地球儀上之經線之緯度記明之，並將其列入於一表中，再由該表而經畫大圓圈於最後兩題之地圖上。

(十四) 在上述之地圖上，試測量其經過亞細亞由東京至紐約之距離。(甲) 沿地上聯接該兩地之直線而測量之，(乙) 沿所繪之大圓圈以測量之，而假定在此兩種情形中，其縮尺度皆與沿赤道者相同也，又大圓圈之距離，亦須由地球儀上以測量之，然後將所測之結果列入表中，以資比較，並將君之對於地圖扭歪之狀態之結論，筆之於書，試問在地圖上沿大圓圈所測量之距離，是否爲最短之距離耶？

大圓圈在此處及在第九章中，皆頗爲重要，吾人可進而示明其如何始可切實遵循而繪於地圖上焉。每一大圓圈須切過赤道之兩點，是爲曲線自交點，此則在解析幾何書中，用以指示在一平面中經過圓球中心點之點者也。

$$\tan \phi = \tan a \sin \lambda$$

此處 a 爲平面及赤道平面間之角，而 ϕ 則爲大圓圈切過經度 λ 之經線處之緯度，其緯度則由一曲線自交

點以記錄之，而大圓圈即可用此種公式以描寫之。假使吾人欲描寫經過兩點之緯度 ϕ_1 及 ϕ_2 與經度 λ_1 及 λ_2 ，吾人必須先將 a 計算之，茲將對於兩點之公式，書明於下：

$$\tan \phi_2 = \tan a \sin \lambda_2$$

$$\tan \phi_1 = \tan a \sin \lambda_1$$

用此公式以除彼公式，則為 $\frac{\tan \phi_2}{\tan \phi_1} = \frac{\sin \lambda_2}{\sin \lambda_1}$ 又為節省書寫起見，可使 $\rho = \tan \phi_2 / \tan \phi_1$ 如 L 為經度差且已

雖為吾人所知，則關於弧線自交點之經度尙未知悉，亦可知 $\lambda_2 = \lambda_1 + L$ 而對於 $\sin \lambda_2$ 吾人即不妨寫作 \sin

$(\lambda_1 + L)$ 並可易於示明 $\sin \lambda_1 = \frac{\sin L}{\sqrt{m^2 - 2m \cos L + 1}}$ 由此公式中，吾人即可求得 λ_1 繼則為 λ_2 最後即可求

得 a 矣，例證——試描寫經過倫敦 (51°32' 北, 0°05' 西) 及紐約 (41°06' 北, 74° 西) 之大圓圈。

求 m, λ_1, λ_2 , ——

$$L \tan \phi_2 (41^\circ 06') \dots\dots\dots 9.940 \ 69$$

$$L \tan \phi_1 (51^\circ 32') \dots\dots\dots 10.099 \ 91$$

$$\text{差數} = \text{對數 } m \dots\dots\dots 9.840 \ 78$$

$$L \cos L (73^\circ 55') \dots\dots\dots 9.442 \ 53$$

$$\text{Log } 2 \dots\dots\dots 0.301 \ 03$$

$$\text{總數} = L \log 2m \cos L \dots\dots\dots 9.584 \ 34$$

Log m^2 9.861 56 (兩倍對數 m)

m^2 0.480 35

m^2+1 1.480 35

$2m \cos L$ 0.384 01

$m^2-2m \cos L+1$ 1.096 34

(1) $\sqrt{m^2-2m \cos L+1}$ 0.03994

Log $\sqrt{m^2-2m \cos L+1}$ 0.01997

L sin L..... 9.98266

Log $\sqrt{m^2-2m \cos L+1}$ 0.01997

差數, L sin λ_1 9.96269

於是 $\lambda_1 = 66^\circ 35'$ 而 $\lambda_2 = 66^\circ 35' + 73^\circ 55' = 140^\circ 30'$

(大圓圈並不於倫敦及紐約間之大西洋處切過赤道則頗為明顯, 因參考弧線自交點 λ , 乃在西經度, 而弧線自交點乃在格林威治之東也。)

求 a

由原有之公式 $\tan a = \tan \phi \operatorname{cosec} \lambda_1 = \tan \phi_2 \operatorname{cosec} \lambda_2$

$L \tan \phi_1$	10.09991	$L \tan \phi_2$	9.94059
$L \operatorname{cosec} \lambda_1$	10.03733	$L \operatorname{cosec} \lambda_2$	10.19649
$L \tan a$	10.13724		10.13718

$L \tan a$ 所以須重複以求出之者，係為便於校對該工程起見，此處兩數間之差異，僅為小數第末位之六，此則由於吾人未曾將其做至秒之數目也；若其所差甚大，則吾人即可斷定其計算之中，必有錯誤，或在開始之時，即行錯誤焉，至從事於此項計算，並無依照本書所採用之式樣之必要，但最好須有數種有規則之格式，以從事於一切此種之例題，吾人現既利用公式以求 $\tan a$ ，即無須仰賴於其角度，祇須有切線之對數，即足以適合於吾人之需要矣。

茲為繪畫圓圈起見，吾人必須計算彼圓圈切過選定之緯線處之經度，或切過選定之經線處之緯度也。

(1) 北六十度之緯線： $\phi = 60^\circ$ 北三十度之緯線： $\phi = 30^\circ$

$L \tan \phi$	0.23856	9.76144
$L \tan a$	10.13720	10.13720
差數 $L \sin \lambda$	10.10136	9.62424

$\lambda_1 24^\circ 51'$

現既並無一角其正弦有一較十為大之對數，該圓圈即並不切過六十度之緯線，其實在大圓圈上極北（或

極南)之點，乃係顯而易見，必有與 a 相等之緯度，即為五十三度五十四分適在弧線自交點間經度之半道，又圓圈必須於與弧線自交點有相等距離之經線上切過任何緯線兩次，是以該圓圈即須在經度西二十四度五十四分，及西一百八十度減二十四度五十四分之處，而切過北三十度之緯線，吾人所熟慮之弧線自交點既在格林威治東之經度六十六度三十分之處，則此項經線即在東四十一度三十六分，及在格林威治西八十八度三十六分，最後該圓圈即須由南三十度之緯度處，切過一百八十度之經線也。

(2) 西五十度之經線

西一百五十度之經線

參證弧線自交點之經度是：

$$\lambda = 116^{\circ}30' \text{ 西} \quad \lambda = 216^{\circ}30' \text{ 西} (143^{\circ}30' \text{ 東})$$

$$L \tan a \dots\dots\dots 10.13720 \quad 10.13720$$

$$L \sin \lambda \dots\dots\dots 9.95179 \quad 9.77439$$

$$L \tan \phi \dots\dots\dots 10.08899 \text{ (總數)} \quad 9.91159$$

$$\phi \ 50^{\circ}50' \quad 39^{\circ}12'$$

茲如前例，彼西五十度及東三度之經線，將於北五十度五十分之緯度處，為大圓圈所切過，而東一百三十度及西一百七十七度之經線，則被切於南五十度五十分之緯度處，西一百五十度及東一百零三度，則被切於南三十九度十二分之緯度處，而東三十度及西七十七度，則被切於北三十九度十二分之緯度處也。試繪一北半球之輻射

之地圖網線，然後以此網線而與大圓圈校對之。(大圓圈即為網線內之一直線。)

(十五) 試將由倫敦至紐約之大圓圈之計算完成之，然後由計算之結果，畫一圓圈於地球儀上，並用紙圈以校對其結果焉。

(十六) 試計算地圖之根據於(甲)簡單圓錐體之繪圖法所繪畫並含有北四十度之標準緯線，及格林威治之中央經線者，(乙)麥卡托繪圖法所繪畫其在下列各地之格林威治經線之東及北四十度緯線之北之距離，係以英寸計算者，其縮尺，則為一千萬分之一，試將其結果用君之地圖集中之地圖以校對之。

緯 度 經 度

倫敦德梨(Londonderry).....55°00' 北..... 7°20' 西

維爾那(Vilna)..... 54°55' 北.....25°00' 東

里斯本(Lisbon)..... 38°42' 北..... 9°08' 西

特洛謨塞(Tromso)..... 69°50' 北.....18°32' 東

柏林(Berlin)..... 52°45' 北.....13°24' 東

科林斯(Corinth)..... 37°55' 北.....22°53' 東

例題——但澤(Danzig)..... 54°22' 北.....18°39' 東

(甲) 麥卡托繪圖法

子午線之部分 $54^{\circ}22'$ 3,902.2 (地理里)

真五里對入... $40^{\circ}00'$ 2,622.7 (地理里)

差數..... 1,277.5

將此差數，化而為吋，（以六〇八〇呎為一地理里）並化之使與縮尺相合焉，至在地圖上北四十度緯線之北之x距離，則為

$$\frac{1279.5 \times 72960}{10000000} \text{ in} = 9.33 \text{ in}$$

由格林威治經線所得之經度 = $18^{\circ}39' = 1119'$

在麥卡托繪圖法中，其經度之分數，在每一緯線上之長度，係與在赤道者相等，是以格林威治經線以東之距離y，乃為

$$\frac{1119 \times 72960}{10000000} \text{ in} = 8.16 \text{ 吋}$$

若於學者之地圖上而校對之，則必須測量赤道之長度，或約計其為九十度，俾可於該赤道上求得其縮尺；假使其縮尺，為一比一二五〇〇〇〇〇〇，則上面所求得之距離，當彼等須與由地圖上所量得之距離相合時，則必須用一二、五以除之，（乙）簡單圓錐體之繪圖法，——試以地球之半徑為三千九百五十六法定英里，則以一時等於一千萬吋之縮尺之地球儀半徑R，乃為

$$\frac{3956 \times 63360}{10000000} \text{ 吋} = 25.065 \text{ 吋而 } r_0 = R \cot 40^{\circ} = 29.872 \text{ 吋 (見第七十二頁)}$$

但澤之緯線在四十度之緯線以北，十四度二十二分，或為八百六十二分，即為八百六十二地理里，而此數以地圖上之縮尺計算之，乃為六、二八九吋，是以對於此項緯線， $r = (29,872 - 6.289)$ 吋或為 23,583吋

若沿標準緯線之縮尺度，乃為準確者，則吾人即可以計算 θ 角之大小，（見第一百二十三圖）因其圓圈之測量，乃為 OE/AE 弧， OE 弧在北四十度之緯線上為十八度三十九分，此處經度之度數則為五三、〇六法定英里。（第二表）是以 OE 弧在地圖上之長度，乃為 $(18 \frac{39}{60} \times 53.06 \times 63360 \div 1000000)$ 吋，或 6.270 吋，而 θ 角則 $(6.270 \div 29.872)$ radians 或 $(6.270 \div 29.872 \times 57.3)$ 度即為 $12^{\circ} 01'$

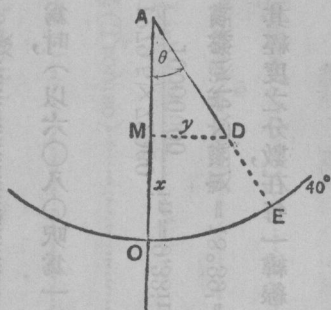


圖 一 一 三 第

真正同樣之數，亦可由 $18^{\circ} 30' \times \sin 40'$ 而得之（見第六十七頁），觀於圖上吾人得有：

$$x = AO - AM = r_0 - r \cos \theta$$

$$y = MD = r \sin \theta$$

$$\text{Log } \cos 12^\circ 01' \dots\dots\dots 9.99038$$

$$\text{Log } r \dots\dots\dots 1.37260$$

$$\text{Log } \sin 12^\circ 01' \dots\dots\dots 9.31847 \quad \text{總數} = 0.69107 = \text{Log } y$$

$$\text{是以 } AM \dots\dots\dots 23.066 \text{ 吋}$$

$$AO \dots\dots\dots 29.872 \text{ 吋}$$

$$6.81 \text{ 吋} \quad y \quad 4.91 \text{ 吋}$$

此即為所求之距離，彼等在地圖上則謂之但澤之直角座標，（參觀第八十七頁及第一百十頁）此項座標之起點為○，其軸線即為中央經線，及與標準緯線相切之切線之經過中央經線所切過之點者，照例此項地圖上主要之點，皆用此項座標而繪畫者；此則用以計算地圖網線上所示之經緯線之交點，及其他指導之點，而此種座標，則各稱為北距，及東距，雖在此種情形之下，彼等並不一律沿經線或緯線而測量也。又向南起點之座標距 x ，及向西起點之座標 y ，則皆附有負號，是以此問題中，倫敦德黎之一座標，及里斯本之二座標，皆為負數矣。至已計算之座標，可於任何地圖集之地圖上，用一圓錐體或本納氏之繪圖法以校對之，若地圖上之縮尺，例如為一比二五〇〇〇〇〇，則必須將彼等先用 $2\frac{1}{2}$ 以除之。

○○(十七)試計算大圓圈經過開普坦 ($33^{\circ} 56'$ 南, $18 29'$ 東) 及新奧爾良 ($30^{\circ} 00'$ 北, $90^{\circ} 00'$ 西) 而與東西之零度, 十度, 二十度, 以至一百八十度之經線相切之點, 並用直角縱橫距而繪畫圓圈於第十一及十二題中之地圖上, 然後再用紙板圈以校正之。

第四章 (Chapter IV)

本章中最善之練習模範, 乃為在一有一定面積之地上之實地測量, 彼三角測量法, 則可以用本章中所述之儀器以舉行之, 若不能得有更佳之儀器, 學者亦頗易於將簡單之平板測器及經緯儀, 稍稍加以改良, 彼有此種儀器, 即可舉行彼之測量矣; 即使彼不能得有非常準確之結果, 最少亦可學習郊外工作及計算之法, 並討論彼之結果, 而決定其準確與否也; 蓋如此即可保其能夠理會此項問題, 及彼遇有更精良之儀器, 及得悉如何應用此項儀器之時, 彼即能以其智慧, 而運用此項儀器焉。

(一) 下列之數, 乃為用一三英寸之經緯儀, 在某測量地點所記錄之角度平均數:

在測量地點 A, ——			在測量地點 B, ——		
度	分	秒	度	分	秒
D, R.O.	00	00	A, R.O.	00	00
„	00	00	„	00	00
„	44	28	D,	44	20
„	44	50	„	44	50
„	98	09	C,	79	45
„	98	10	„	79	30

在測量地點 C. ——

， D, R.O. 00 00 00 00

， F. 24 41 10

， E, 84 06 32 10

， B, 257 07 00

， A, 303 40 50

在測量地點 D. ——

， C, R.O. 00 00 00 00

， B, 41 42 10

， A, 79 11 50

， F, 225 18 00

， E, 303 22 10

在測量地點 E. ——

， C, R.O. 00 00 00

， D, 39 16 10

， F, 78 59 10

在測量地點 F. ——

， E, R.O. 00 00 00

， C, 41 09 00

， D, 62 13 10

(D142)

由 C 至 D 之距離為一五二呎，由 C 處之 D 之方向為三三三度一六分，而 C 之縱橫距，則為二二六及二一三五呎，試為其他各點每點之縱橫距，最少須求二種數目，又求其每一對數目，與彼等之平均數，彼此相差幾何，並說明此種歧異，在每種情形之下，係為縱橫距之一種百分數焉。

問題 (二) 試將第一題中各點繪畫於一張十吋見方之紙上，其縮尺則為一與六千之比例，並將在測量地點 K 處

所測得之下列各角，A, R. O.; F, 261°13' D, 292°34' C, 322°。試繪於一張與前紙大小相等之影寫紙上，配置其後者，使彼適宜之光線，得以通過前一紙上所述之各點，然後在 K 處之地位，用針刺入之，並測量其座標焉。（參觀第一百五十四頁之測點器。）

(三) 試將下列橫線測量法中各點之縱橫距演出之：

在 A 處；B, R. O. 太陽在轉鏡所記錄之度數，（地平經度）為 67°36'——其至 B 處之距離由五度之向上斜坡而測量者，為 1594 呎。

在 B 處；A, R. O. 至 C 之角度為 132°14'，至 C 之距離由六度三十分之向上斜坡而測量者，為 2176 呎。

在 C 處；B, R. O. 至 D 之角度為 75°38' 距離由七度之下斜坡而測量者，為 2075 呎。

在 D 處；C, R. O. 至 E 之角度為 80°45' 由三度之下斜坡而測量之距離為 2034 呎。

在 E 處；D, R. O. 至 A 之角度為 212°53' 地平面之距離為 671 呎。

在 A 處；E, R. O. 至 B 之角度為 38°30'。

以 A 為座標之起點，並分析在各脚上相同之終結錯誤而將該橫測器整理之。

(四) 下列至 P 之角，7°42'; 81°45'; 22°57'; 54°02' 係在上題中 A B C D 各處所記錄者，其 R. O. 則與上列者相同，試於橫線測量法之工程中，用計算 P 之縱橫距之各獨立數目之法，以求一校對焉，並將因整理橫測器而

及於此項縱橫線上之效果求得之。

(五) 試由彼等之座標，(以呎計算) 以一比二五〇〇〇之縮尺而繪畫下列各點：

K,	x	y	A	x	y	B	x	y
	3249	1958		2973	5896		-2024	2190
			C	3071	-755	D	7086	6349

計算其他各點由K處之方向及由K處及於各點之角度，而以A為B.O.，然後用量角規以測量在圖上各相等之角，而將其校對之。

此項計算，不過與在一百五十頁中用以求座標者，適相反耳，譬如取一KD之方向，依南北之方向，而畫DN線使經過D，並畫KM線使與DM成爲直角，即依東西之方向而繪畫也，若KN線，其北面之方向，係在於K，則D由K之方位 θ ，即爲NKD角，此角與KMD角相等。而 $\tan KDM = KM/MD$ 但KM爲D之總數，乃在K之東，此即爲彼等 γ 縱橫線間之差數，而MD亦屬相同，乃爲彼等 x 座標之差數也是以

D之座標, $7086(x)$ $6949(y)$

K之座標 3249 1958

差數 $dx = 3837$ $dy = 4991$

$\log dx,$ 3.698 19

$\log dx,$ 3.583 99

差數 $\tan \theta = 10.114 20 \quad \theta = 52^\circ 27'$ 至其最近之分數

若 d 爲由 K 至 D 之距離 (KD 在圖中) 則

$$d = y / \sin \theta = x / \cos \theta$$

是以 $\log dy, 3.688 19 \quad \log dx, 3.583 99$

$\log \sin \theta, 9.899 18 \quad \log \cos \theta, 9.284 94$

差數 $3.799 01 = \log d = 3.799 05$

由上若依上列而做成兩種答數，則於數字上可以互相參校焉；其對數 d 之兩種數目間之差數，如吾人演至秒數爲止，則在五位對數表中，即消滅無存矣，其比率當然僅指至九十度之角爲止，而其方位，則可至三百六十度，是以對於每種情形，必須繪一簡陋之圖，俾可得悉其方位是否在於○度與九十度之間，九十度與一百八十度，及一百八十度與二百七十度之間，或二百七十度與三百六十度之間，於是 B 即落於南方及稍向 K 之東方，（由座標計算）是以由計算而得之角度，必須減自一百八十度也，因上述之計算方法，若切實遵循之，則此角乃常爲由經線而測量之角也。

此種方法，假定在各點之經線，因實地練習起見，可以將其視作緯線，即各點之間，從不相離甚遠也。（見第十

一頁。）

(六) 由第二題中所測量之 K 之座標，試計算由彼點至 A, C, D, F 之方向，並用已知之角度校對之，然後計

其差異之點，若能將已測量之座標改正之，即可以同樣之法而試驗其新數目焉。

(七) 試取一張四分之一之鄰近村野地方之參謀部 O.S. 六吋地圖，藉刻在地圖上之等高線，及測量所留存之標識，與其他水平線之助，而將等高線於每隔二十五呎之處畫入之，然後將該地圖攜至田野之處，並將彼真實之形勢，而與君所插入之等高線比較之。

(八) 用等高線及等壓線而繪一略圖以表出(甲)一背靠一二千呎高之高原之峽江沿岸線，(乙)一後有如波浪起伏之低地之低沙岸，然後將君之草圖，與斯干的那維亞(Scandinavia)或蘇格蘭(Scotland)及波羅的(Baltic)沿岸之色層地圖一比較之。

(九) 試繪一有等高線之草圖以表出為兩平行之斜坡所穿過及有沿岸線橫切於彼斜坡之線之鄉村，然後將君之草圖，與彼英吉利東南部之色層地圖比較之。

(十) 一 Q 點落在一連接兩山峯之山嶺上一千呎高之處，且係在一 P 點之東，並離 P 點計一千八百六十碼之遙，此 P 點則為一在兩山峯 C 及 A 間之峽路中，在同一水平線之點，其方向則約略記取於下：

在 P 至 A, 0° 00' 在 Q 至 A 319° 在 A 至 B 95°

在 P 至 B, 59° 00' 在 Q 至 B 34° 在 B 至 C 165°

在 P 至 C, 141° 在 C 224°

下列之仰角亦一併記錄之：

在 P 至 A 7°00' 在 Q 至 A 5°30'

在 R 至 B 5°00' 在 S 至 B 8°15'

在 T 至 C 14°40' 在 U 至 C 13°30'

在 A、B 間之半道，為一圓湖，其直徑為四分之一里，湖面則高出海平面五百十七呎，試以一與二萬之縮尺而畫一有等高線之面積圖。

第五章 (Chapter V)

在地圖研究中之郊外工作，與在測量中之郊外工作，皆有同等之重要；學者可取其所住地方之參謀部 OS 地圖，並遠出而將其地圖與彼等所代表之形勢比較之，凡一地圖或可用作兩種目的之用，在不熟悉在鄉村中之田野間，可用作一種指導物；在辦公室中，則可用以指示一村落中田野間之外景，及其形勢之關係焉；對於此兩種目的彼田野間之地圖研究，僅為相當之預備而已。

(1) 若在薩里斯布里 (Salisbury) 地圖上，一鐵路網線四方塊之一邊，係代表七里之距離者，試問該地圖之代表分數為若干？

(2) 君攜一地圖於田野中而欲用之，但君對於該鄉村不甚熟悉，不足以所示之形勢而糾正該地圖，試問君

將如何進行之(甲)若君有一袖珍之磁性羅盤儀，(乙)若君並無羅盤儀，而僅有明亮之日光照於其處而已。

(三)有三點示明於一地圖上，即易爲一欲指出彼在何處之旅客，將其點於地上證同之，但彼將如何證同之耶？(參觀第一百十四頁之割截法。)可將地圖置於地上或持平於手中，而用一鉛筆或一比例尺以作一改良之指方規之用焉。

(四)將下列各點繪於薩里斯布里之地圖上，A, $51^{\circ}19'22''$ 北, $1^{\circ}59'10''$ 西, B, $51^{\circ}09'50''$ 北, $1^{\circ}42'40''$ 西，並沿連接各該點之線而繪一截面圖。

(五)有何人可以於上圖 B7 處之羅馬道附近，得見在北面山谷中各點之任何一點，而用第三題之法以尋出彼自身之地位否，第四題之截面圖，即可以示明此答案焉。

(六)在薩里斯布里地圖上之 C7 天文臺，乃爲一四十五呎高之塔，則該天文臺可以(甲)由在 C7 處之井邊，在羅針儀 E.N.E. 八百碼之方位處，(乙)由在 B3 處之小田舍處，得見之否？試繪在天文臺及各點之每一點間之截面圖以證實君之意見。

(七)有一人夜入於薩里斯布里平原，知彼在下午四點一刻經過西布里 (Westbury) C2 東之丐人坡 (Beggais Knoll) 並以適中之速率，由南而向東走，現在則爲下午六點三十五分，試問彼現約在何處？又何種道路，乃爲彼走向一投宿之旅館之最善之道耶？

(八)在第三百頁第十題之地圖上，試示明一爲河流所流過及經過 P 點之路，其最峻峭之斜坡，須不得過二

十分之一。

(九) 試計算離開鄂濱 (Oban) 地圖 (F9) 中特立司海 (Driskraig) 鐵道之礦產線上之最大最小及其平均之斜度。

(十) 茲因有關於一小水電之計畫，欲用一堤以升高喃托 (Loch Nant) 海灣之水平線至七百七十呎之高，鄂濱圖 (F H5) 標記 (甲) 爲吾人視之，若河堤之地必須善爲構造之，(乙) 爲水滿時被蓄水池所遮沒之面積，(丙) 爲可以安置渦輪之處，俾當貯水池在其七百呎最小之水平面時，得有高二百八十呎之水源，(丁) 爲一由太牛爾 (Taynilt) 防浪堤以至總湖堤之建築鐵道之路，其建築之目的，須使其斜度不得過四十分之一。

(十一) 既已留心其縮尺之後，則最後問題中所預備之圖，對於該計畫究有何用處？

(十二) 由君之地圖集中之山嶽圖，而繪一地圖以表出不列顛羣島，在其地一致下沉六百呎之後，彼等所顯露之情形，試記錄其沿海岸所發生之結果，並將此項海岸與現在之不列顛海岸比較之。

(十三) 試繪一地圖，以表出歐羅巴洲西北部，當彼高出現在海平面一百呎之沙灘初漲起時之狀態。

(十四) 試將鄂濱圖上所示之面積，分成主要之河流區域。

(十五) 繪一大不列顛地圖，以表明其總河流之流域，及其主要之副流域，又將鐵道幹線亦插入之，並指示彼等由一河流區域至彼河流區域所經過之山凹。

(十六) 試繪一地圖，以表出在沙岡及英吉利峻坂中之山凹之重要，並將鐵道幹路經過各峻坂之路註明之。

學者當機會發生之時，宜趁此機會，以研究各種式樣不同及比例尺度不同之地圖，且可將不少上列問題，用於其他之地誌地圖上，並爲其自身發明更多之問題，而用於同一之圖上。

〔答案〕

(1) 1比1111760。

第七章 (Chapter VII)

氣象局之每日天氣圖，在幾處之公共場所，多陳列之；而每日早晨復有幾種報紙再爲公佈之，此卽可以供學者之研究焉。

(一) 在一張空白無字之世界地圖上，可由君之地圖集中將在北半球華氏表四十度及在南半球華氏表七十度之每年平均等溫線繪入之，試指示沿此種等溫線之路線之海潮及普遍之風，並書一短簡以紀錄彼等主要之思想。

(二) 試於君之地圖集中，對於世界上在正月七月及全年之等溫線圖上，而繪入彼熱赤道之路線，並於此三種情形之下而將其位置及格式比較之。

(三) 試計算在格林威治東西每二十度之熱赤道上之每年平均之溫度。

(四) 由在君之地圖集中之溫度圖，而編一表以說明正月七月及全年之平均溫度，及下列各地平均溫度之

範圍，（正月及七月平均溫度之差數。）如倫敦威廉堡 (Fort William) 瓦稜西島 (Valencia Island) 紐約 溫尼伯 (Winnipeg) 舊金山廷巴克圖 (Timbuktu) 里昂 (Lyons) 柏林馬德里 (Madrid) 莫斯科 (Moscow) 列寧格勒拉薩 (Lhase) 伊爾庫次克 (Irkutsk) 廣東北平海參崴 (Vladivostock) 等處是也，然後再考查君表之有關於緯度及由海普遍風及最近之潮流之距離，而將君之結論概錄之於一短簡之中。

(五) 地球上各項不同之緯度之平均溫度，據計算之結果，乃與下列之表相同者。

緯度之度數	北												南											
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60								
每年正	4	2	13	30	42	57	68	77	80	78	77	73	64	53	42	30								
月七月	-36	-28	-15	4	20	40	58	72	78	79	79	77	71	95	47	35								
	34	36	44	57	64	75	81	82	80	77	75	68	58	48	37	25								

試斷定何處之溫度，係較高於平均之溫度，及何處係較低於平均之溫度，並將溫暖之區域，着以紅色，寒冷之區域，着以藍色，於一世界地圖上，再將此地圖與君之地圖集中之相等等壓圖比較之，而將君之結論摘錄焉。（任何地方之平均溫度，及其緯度之平均溫度間之差數，則謂之不規則之溫度。）

(六) 試在空白無字之印度地圖上，將七月及正月之等壓線繪入之，並用箭形物以指示其所發生之風，然後再用別種顏色之墨水，或鉛筆，而將君之地圖集中真正之風插入之，並紀錄其主要之差點焉。（注意彼阻住表面

風之喜馬拉雅 (Himalaya) 高大延綿之山嶺，得坎 (Deccan) 之障蔽及其間低窪之河谷，即印度河 (Indus) 與恆河 (Ganges) 所經過之地。

(七) 試比較溫加華島紐芬蘭及愛爾蘭之氣候大概關於普遍風溫度及雨水之類是也。

(八) 試繪一草圖或數圖，以表示在南緯度二十度附近之非洲及美洲西部之氣候主要之原素，並由該地圖以示明海潮與普遍風相連之如何可以決定隣地之溫度及雨水焉。

(九) 一集中於愛爾蘭西南以外之大凹缺，乃趨向於東北方者，試表出該凹缺於一等壓線圖中，此項等壓則為每隔 5 mb 而繪畫一線者，(1000 = millibars = 水銀表上之 29.53 吋，1050mb = 31吋) 然後又指在掃桑波敦 (Southampton) 及斯托諾威 (Stornoway) 數日間所發生普通天氣之變化焉。

風之力量，各國氣象局及其他科學團體規定以一八〇五年蒲福 (Beaufort) 氏所創之等級定之。茲將此種等級書明於下，以資考證，至每點中以英里計算之速率，即為納披爾蕭 (Napier Shaw) 所定速率，且因有數原因，須較美國及其他之表所定者為低也。

蒲福之風力等級 (依納披爾蕭氏之計算)

蒲福氏等級	風之名稱	可以審定風力之效果	每點鐘以哩計算之空氣速率
0	靜止	煙氣直上無物件有理性之移動	0-1
1	軟風	煙氣為風吹動但風車尚不轉動船隻僅可把舵而行(1)	2

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
颶風	暴風	狂風	烈風	大風	疾風	強風	清風	和風	微風	輕風
同上	擴大之損毀如此之風非常少有	樹木連根拔起建築物大受損毀此種風力為內地所僅有	烟囪頂筒及蓋屋頂用之石板吹去建築物如垣牆等略有損毀	小樹枝折斷逆風走路非常艱難一切船隻皆須停泊港中	全樹擺搖風始阻礙行路船隻停泊港內或拋錨於海中	大樹枝擺搖風吹電線颯颯有聲洋傘難於握住船之總帆須摺小而行駛	小樹連葉擺搖內地湖水發生微波船隻須縮短風帆行駛	灰塵及散紙飛揚樹之小枝幹搖動宜於行駛之小風船隻張滿風帆而行駛甚安	枝葉常常搖動輕旗飄展船隻開始捷行約駛三四海里	面部可以感覺有風風吹沙有聲風車可以轉動帆滿而船行在一二海里之遙
	75 上以	59 68	50	42	35	21	15	10	0	5

(十) 試標記第一九七至一九八頁第一〇七及一〇八圖中之旋風之中心點，或最低氣壓之點，並計算之轉動之速率，然後再繪一線以表示旋風之中心線，（經過中心點而與其路徑成爲直角之線。）並說明在旋風經過之點上所發生之溫度，及風之變化焉。

(十一) 當風在一地方漸漸向時針運行之方向而變易，（即由東而經過東南，及由南而至西南，由西南而至西也。或如在北半球中所謂依太陽之方向而變易也。）則謂之依時針運行方向之變易，若漸漸轉向反對之方向

而變易，則謂之反對針運行方向之變易。

茲有一旋風經過北半球某地之附近處，如其風係（甲）依時針運行方向而變易者，及（乙）反時針運行之方向而變易者，則該旋風與該地有關之中心點將在何處耶？在每種情形之下，其天氣繼續之變易將如何，而在依時針運行方向而變易及反時針運行方向而變易之風中，將有何種天氣可以預知耶？

（十二）茲有一船當風雨表驟然降落以表示一暴風（註一）將至之時，正在北緯二十度及西經七十五度之處向西而行，而風之方向，則稍向西南，但已漸漸有轉移至西方之趨向矣，試問應如何變易航路，始可免受該風暴中心點之侵犯，若風係在南方或仍留於南方，則該風暴之中心點，或與該風暴接近之地，係在何處耶？

（十三）第一九九頁第一一圖中，說明何以雨水大都皆沿低氣壓之中心線而下降，中心線之西有一冷空氣流由北方流下，與一由南方來之熱流相遇於中心，則當彼等相遇之時，該兩空氣流將發生何種動作耶？

（十四）在第二〇〇頁第一一二圖中，指示烈風在勒尉克（Lerwick）及斯脫諾威其較弱之風，則在倫敦及雅穆斯（Yarmouth）試解釋其理由焉。

可於此種地方之每一邊，測量其鄰近等壓線間之距離，量得愈精確愈妙，並計算其在每等壓線處氣壓表之度數，計每一緯度以 h_p 計算之，然後用該度數以除其在每處之速度，將其結果列於表中，並將君所得之結論陳述之。

（十五）試測量第二〇〇頁第一一二圖中在斯托威勒尉克雅穆斯亞伯丁（Aberdeen）荷里赫德（Ho-

Lyhead) 比亞利址 (Biarritz) 及里斯本等地之風之方向, 及與等壓線相切之切線間之角度, 然後再將彼等與風之速度每點鐘以里計算者比較之, (見上列蒲福等級表) 並試述君所得之結論, 如在本書天氣圖中得有任何例外之事, 則可一併紀錄而解釋之。

(十六) 試將第一〇七圖中在馬林赫德 (Malin Head) 及衛松 (Ushant) 等地及一〇八圖中在海峽島 (Channel Islands) 比亞利址斯德諾威及斯考 (Seaw) 等地暨第一一一圖中在衛松及克里斯聖特 (Christiansund) 等地之風之速度, 及方向與氣壓之關係紀錄之。

【答案】

(一) 等溫線之彎曲, 乃由於海與陸地之熱率有不同, 及彼由熱或冷之潮流而吹向內地之海風之影響, 有以致之, 彼等之發生, 乃在於海與陸地相遇之處也。

(四) 溫度之範圍, 在大陸之內地, 及高緯度處者則較大, 在海岸或近海岸及低緯度處者則較小; 又在熱潮流順風一面之地之緯度處, 其溫度亦較高也, 參觀瓦稜西亞島及溫尼伯。

(五) 固定之旋風面積與正破格溫度之地相符合, —— 因其緯度而溫暖之地, —— 而反旋風面積, 則與負破格溫度之地相符合焉。

(九) 在斯托諾威風將由東南而轉向於東及東北, 其處先則有雨, 但天空則甚清明, 而天氣則將成乾燥而較冷; 在掃桑波敦則有南風及雲雨, 此項雲雨, 將滯留若干時, 其風則必將移向西南及西北也; 至溫度則

仍甚高，但當風向轉北，天氣清明之後，即須低降矣。

(十) 如在上述之地，(第九題之答案) 須以該點係落於中心點之北或南為標準。

(十一) (甲) 向北，(乙) 向該地之南，其變易則如在第九題及第十題中然。

設其(十二) 將航路改向南方，穩定之南風，表示其中心點即在前面矣。

若其(十三) 較為峻削之坡度，大都表示有較烈之風也。

(十四) 風愈大則其吹送亦沿等壓線愈近矣，至例外之事，則或等壓線全線之有變更，(參觀第一百七十

四頁及二百頁) 及因有副擾動之存在也，此種副擾動，因等壓線係每隔五E而畫一線者故未列入焉。

第十六及第九章(Chapter VI, IX)

(一) 一船之首，在羅盤儀上示明為一百二十度，又觀察之所得，示明正午之太陽至該船頭之右舷為二十九度，而該船則在於北半球中，試求其羅盤儀之差誤！

(二) 試以度數而解釋下列之方位，東南，南西南，北五十度東，南十五度西，西南近西，西南近南，此種方位，乃由北計算至三百六十度者。

(三) 試將下列之磁性方位，化成真方位，在每種情形之下，其偏差則皆書明於括弧中，北六十九度西，(十四度東) 東南，(二十四度東) 北近東，(十七度西) 西南近北，(十七度東) 南三十五度東，(十五度南) 南四十五度

(四)阿爾巴尼亞西澳大利亞巴伊阿布蘭克及阿真廷之附近位置，各為南三十五度，東一百十八度，南四十度，及西六十二度，試問何者為各該地間之大圓圈路，且可以實用否？

(五)試解釋在「海圖上」下列之登錄，H. W. F. and C., XI Lt Grp. Occ ev. 30 sec.;
 49; 198; 206; 100
 W. S. bsk. Sh. St.

(六)一測量船裝載一隊測量隊於岸上，該測量隊即在位於北緯度之海灣之東北角，設置一觀察站於A處，於是該船即移至X處，即在該處作某種角度之觀察，而此項角度，乃由岸至船而計取者，然後該船又由X處向東南（真方向）行駛七海里，每里計費時三十三分，而泊旋於Y處，並在其處觀察角度焉。再由Y處費時二十二分而向北行駛七海里，即可使該船達於某一點點彼海灣之西北角之方位，北為北東，距離則為三百碼，同時在岸上之測量隊，又在海灣之東南角設置一站於B處，並在南面進口處另設一站於C處，彼等乃測量AB（119九二碼）及在B及C處之角，彼等察得彼在B處之海灣之岸，一方面係與AB並行，一方面則趨向於西北近北，彼等又於C處察得向海灣之北之沿岸，普通趨向，乃為北西北，向海灣之南為西南，而海灣南邊之普通方向，則為東近北，其所觀察之角，則為：

度數	分數
17	06
45	24
33	48
72	11
27	54
117	15
40	11
15	21
21	04
21	07
31	29
66	24
41	19
56	01
22	20
76	19
29	55
68	11
90	13
27	37
73	18
23	47
10	00

在A處—太陽在正午,	向B之右.....
C,	,,,,,,,,,,.....
船在y處	,,,,,,,,,,.....
,,,,x,,	向C之右.....
山頂R	向C之左.....
,,,,P	向R之左.....
在x處—P,	向A之左.....
山頂Q,	,,,,,,,,,,.....
R,	向A之右.....
B,	,,,,,,,,,,.....
C,	,,,,,,,,,,.....
在B處—C,	向A之左.....
x,	,,,,,,,,,,.....
y,	向C之左.....
P,	向A之右.....
在C處—x,	向A之左.....
Q,	向A之右.....
B,	,,,,,,,,,,.....
y,	向B之右.....
在y處—Q,	向A之右.....
R,	,,,,,,,,,,.....
B,	,,,,,,,,,,.....
C,	向A之左.....

試以二吋等於一海里之縮尺，而用弦法將此種角度繪入於草圖上，並將其在海圖上之形狀，一併繪入之。

(注意一切繪圖，必須由已測量之基線以爲之， x 及 y 間之距離，則約可以測定船之位置法，而將其求得，並可因 x 之位置以定彼 y 之位置焉，此則可以供工作上校對之用，但僅爲一種簡陋之校對耳。惟彼多數之角度，並對於觀察及繪圖上，卻頗足以供十分準確之校對之用也。)

(七)一船駛至第六題海圖內之海灣外，且進而試驗其羅盤儀焉，茲將六分儀上之角度，紀錄如下：在P與Q之間爲二十六度〇一分，在Q與海灣之西南頭間，(C)爲十九度〇四分，在C及R間爲二十度二十五分，其羅盤

儀方位由船至 P 者，為北五十九度東，至 Q 為北八十七度東，至 C 為南七十七度東，至 R 為南五十七度東，試以測點器而設定船之位置，(或用影寫紙如在第二八六頁第二題內然)並斷定其在每一方向之羅針儀之誤差焉。

(八) 試於第六題之海圖上，用一羅盤儀示明彼由下列之觀察所演出之磁偏差，並求該船羅盤儀之向歪差，羅盤儀之方向在：

A-B, 向南

B-A, 向北

C, 南四十五度二十分西，

Q, 北六十三度三十分東。

在 x 由船至 P, 北七十一度東，至 Q, 南八十度東。

在 y 由船至 P, 北三十二度東，至 Q, 北五十九度東。

又在第七題中，船之羅盤儀之向歪差，亦須求得之也。

(九) 線錘測水法之由船上施行而使 B 與 R 均在於一線之上者，須加入於第六題之海圖中，試由下列之表而繪畫之：

磁性方位至 A	以尋計算之深度	水底之性質
北 6° 東	2	污泥
17	3½	污泥
28	6	細沙

38

粗沙

47

白沙及貝殼

56

破殼及沙礫

67

白沙

76

白沙

83

岩石

89

岩石

(十) 試以第十五題之方法而繪畫由開普坦至哈巴特 (Hobart) 之大圓圈線於一麥卡托地圖上，將此大圓

圈線與在君之地圖集中所示明者比較之，並說明其差異焉。(開普坦係在三十三度五十六分南，十八度二十九

分東而哈巴特則在四十二度五十三分南，一百四十七度二十一分東，但為分清好望角 (Cape of Good Hope)

及塔斯巴尼亞 (Tasmania) 之東南角起見，必須由三十四度二十分南，十八度西及四十四度南與一百四十七

度東而計算該圓圈，然後用紙板圈將其校對一過焉。)

(十一) 船隻在冬季由掃桑波敦至紐約於行駛至北四十九度三分，西七度之處，設定一大圓圈線以至在北

四十一度，西四十七度之一點，船隻即由該點沿緯線而駛至西七十四度，假定該大圓圈係依船行短羅盤線而設

定者，試由北四十九度三十分，西七度，而求得其水道之長度，並用紙板圈以校對之。(計算大圓圈切過西十二度

十七度二十二度，……四十七度之緯線處之緯度，然後計算該短羅盤線之長度，如在二百五十二頁者然。）

(十一) 試計算在泰因河上紐喀斯爾 (Newcastle on Tyne) 與卑爾根 (Bergen) 間及利斯 (Leith) 與漢堡間之短羅盤線距離，(由君之地圖集中試決定各該點之相近位置在各該點之間，則有一自由海之直航路，又將各該點間之距離，亦一併計算之；然後由地圖上測量其至海港或由海港之附加距離。)

(十二) 依船隻行駛東方所採用之由倫敦至巴賽 (Port Said) 之主要路線，如在廣告及君之地圖上所指示者，而將其停泊之地記錄之，又對於由亞丁 (Aden) 至加爾各答 (Calcutta) 由倫敦依開普而至仰光 (Rangoon) 及由巴拿馬而至橫濱之水道亦可同樣爲之。

(十四) 茲有一無定期之貨船，在從前係專以載麥至聯合王國，並假定其往往皆係常年僱用者，試問至海外何種海港，則該船將在不同之季候中行駛耶？

(十五) 茲有一在北四十八度十二分，西十五度二十分之船，向西（真方向）行駛一〇〇五海里，試問何者爲其最後之位置？

(十六) 一向東行駛之船，經過橫距五百哩，並改換其經度爲十六度四十分，試問何者爲其緯度耶？

(十七) 一船在南四十九度四十六分，西三十四度十五分，設定一航線，依羅盤儀爲北西北，並藉一時計表

(四點鐘) 而遵守之，每點鐘計平均行駛 $(15\frac{3}{10})$ 十五分之三海里，又風之方向爲東東北，船在下風十二度，在航線上之向歪差爲東七度，偏差爲西十三度，試問在四點鐘之後，其用推測法所算得之位置將在哪處？

〔答案〕

(一) 東二十七度。

(二) 一百三十五度, 三百三十七度三十分, 五十度, 一百九十五度, 二百九十九度, 二百三十六度十五分, 二百四十八度四十五分。

(三) 北五十五度西, (三〇五度) 南六十九度東, (一五九度約爲南南東) 北五度四十五分西; 北六十一度四十五分西; (二百九十八度十五分)。

(四) 依南極而沿經線。

(七) 十九度, 二十一度, 十八度, 十八度, 皆爲西。

(八) 偏差, 西十七度, 向歪差, 東二度, 東二度, 東六度, 東二度, 在航線上, 北三十二度東, 北五十九度東, 北七十一度, 東南八十度東, (依羅盤線)。

(十一) 掃桑波敦至北四十九度三十分, 西七度, 二百二十五海里; 大圓圈, 爲一五四六, 緯線爲一二二三, 總數爲二九九四哩。

(十二) 四一〇, 四一五哩。

(十五) 北四八度二分, 西四〇度二五分。

(十六) 北或南六〇度。

(十七)南四八度,五九分,西三五度〇六分。

(十七)北四八度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。

(十七)西四四度,西四四度〇二分。