萬有文庫

第二集七百種

王雲五主編

地球化學

(三)

弗那斯基著

譚勤餘 任夢雲譯

商務印書館發行

第六章　地殼中之碳素及生物質

三十六　碳素之重要及其分布狀況

碳素爲地殼中最重要元素之一；其所有地殼構造之機能，比其所有分量更爲重要。觀前數章所述礦、氧、鋁、錳、矽等元素之化學史，隨處均可見生物質之重要。而生物質與碳素原子之特性有關係，固彰彰明也。同樣，其對於生物之影響，就其他元素而言，亦可以知之。蓋自拉瓦節研究以來，碳素對於生物界甚爲重要，已得正當之認識。

然宜注意者，一般人以爲生物質係以碳素爲主成分，其實決不然。蓋生物之主成分爲氧素及氫素，氧素佔半量以上，氫素與其10%以上相當。其他之元素碳、氮、鈣，則平均各有1%以上而已耳。陸上植物及一般脊椎動物等，約含有10～20%之碳素，即特別富於碳素之生物，雖亦確實存在，然

同時富於水分之多數生物及一切水棲生物等，其所含碳素之量，不過爲生物體千分之一，或竟在千分之一以下，不可不知之。自地球化學而言，生物乃爲富於碳素之氧素化合物，不過有時含10%以上之碳素而已。蓋碳素在生物界之居重要地位，非因其量多，乃因其具有化學特性，即其原子有特殊結構，而最主要之原因，似在原子表層之電子。

同樣之事實，不僅限於生物界，即就其原料而言，亦正相同。在地球化學反應中，碳素之重要作用，不問其爲生物界或無生物界，其價值常比其存量甚大。

包含初成、變成、表成各圈之地殼，其所有碳素之平均量，約與其千分之一相當。據岩石學者及化學者之計算，例如克拉克及瓦辛通之新計算（一九二四年）不過0.2~0.139%而已。然就著者觀之，此數與事實不一致，蓋其估計僅根據碳酸岩（石灰岩等）、碳酸氣及火成岩中之碳素，且不過就普通分析表上之CO_2加以考慮而已。且同時其所根據之火成岩，乃推定其佔有地殼之95%；而火成岩中富於碳素之氣態物質，或挾雜之少量有機性碳質物等，則置諸度外。又變成岩內，亦集中有鉅量之碳質物，尤其如富於碳素之石墨片麻岩(graphitic gneiss)，其分布比普通人所想像者

甚爲廣大石墨不僅存在於準片麻岩(paragneiss)中正片麻岩(orthogneiss)中亦有其存在又含石墨之花崗岩形成大塊而產出，亦屬事實。一般人所行之普通化學分析，此等碳素均未列入計算中，而吾人所有之知識，原以舊觀念爲根據，今則有依新化學方法加以改良之必要。上述火成岩之估計，及其平均成分之決定，不惟常將鉅量之準片麻岩棄而不顧，且對於鉅量之花崗片麻岩亦度外視之。觀第八表載地殼第三分圈所有火成岩中之碳素量，明明比迸發花崗岩中之碳素量大。就此等事實而言，可知歷來之觀察皆不充分，故由古代火成岩及片麻岩可放出之含碳昇華物及射氣質(emanation)，須徹底研究，乃爲大有興趣之問題。

又克拉克之平均碳素量，固未計及水成岩與變成圈上帶，而石炭層下磐之碳質泥板岩及片岩等，其所含碳素之總量，比石炭（煤）自身更多。例如阿岡(argonkia)紀之片岩中，往往含20%以上之碳素。此外地殼深層之石墨固不待論，卽氣態乃至固態之初成碳素礦物，例如碳化物(carbide, carbures)、碳醯基(carbonyl)、氧化碳(CO_2, CO)，以至於氰化物(cyanide)等，似皆未列入克拉克之計算中。

蓋地殼中所有碳素量之估計，應有增加，克拉克及瓦辛通之計算，實認爲過小。依著者之計算，地殼所含之碳素量，可達千分之四乃至千分之五。卽碳素總量小於鈦素（6%以上）乃屬明顯之事實。

然碳素在地殼中之分布狀況，極不均勻。欲求得正確之數字固甚難，但岩石圈之化學分圈上層（第六至第七分圈，可觀第八表），集中有碳素，實甚明顯。

水成岩中之碳質物及CO_2狀態之碳素，據克拉克計算，謂其平均量達2%云。

事實上此平均量有顯著之變化。在多石灰岩之地方，或地殼中富於碳素之部分，其含量可達10~12%；生物圈中除去海洋之外，恐其量或比此更大。反之，地殼由砂、黏土、火成岩、結晶片岩等所成之部分及海洋水中，縱令爲接近地面之分圈，其含碳素之量，有時比地球全體之平均量或更低下。無論由何方面研究，在岩石圈表層，集中有多量之碳素，可達地殼平均之5~10倍。

碳素對於地球化學作用之影響，以其化學性質爲主，故集中愈多，愈見其重要。

就碳素之地球化學史而言，須注意次述二種基礎化學特性：（1）在地面上形成生物質，而

爲最有特徵之組成元素（2）碳素之初成礦物，多成爲氣態此二事實在全地球化學史上所留之印象甚深。

三十七　碳素礦物之穩定度

他一方面，碳素之化學特性，有加以注意之必要。其最主要之特徵，乃其天然有機物，對於地球之熱力學作用，甚爲穩定一點。此種變化，不獨進行極緩，且往往至全不見其變化之狀況。普通認爲極不穩定之含氮碳化物，在地殼中竟成穩定之狀態，天然石油中卽常含此種成分，如喹啉核（chinolinring, quinoline）化合物卽是。又某種腕足動物（brachiopoda）之角質（chitin）部分，自寒武紀以來，雖經過數百萬年，猶能保存於水成岩中。又如葉綠素等類蛋白質，若在適當之條件下，亦可保存至數百年或千年以上而不變。

在地殼之熱力學條件及化學條件下，除生命現象之外，凡天然產之碳素化合物，皆極穩定。構成生物質之各成分，如蛋白質、脂肪、醣類等，幾能保持穩定狀態，雖有變化，但極其徐緩，而其與生命

現象相分離時，仍不失其原有之結構。凡腐敗及發酵等作用，在生物死後，所有生物質之變化，實屬於生物化學現象。蓋巴斯德(L. Pasteur)曾由實驗證明有機物中若無菌類存在，則絕對穩定故也。凡有機物質，若在生命現象之範圍以外，又處於無菌之環境，則縱令受生物圈之常溫常壓作用，亦不過發生極緩慢之變化，或竟不起變化而保存原形，其例實不鮮。例如在泥煤中或乾燥地方，有機物或保持其穩定狀態，或僅其中分子結構微起變化等是也。

碳素礦物，比生物直接分解之產物更爲穩定。

就天然生物質及有機化學之實驗而言，碳素化合物有多數分子起明顯之變化。天然生物質中含有數百萬之碳素化合物，實驗室中所合成者，亦達數十萬。此等碳素化合物，在實驗室內，容易使變成無數之化學分子，而此等化學分子之特性，則各有顯然之區別。

然生物質範圍外之碳素化合物，則與上述者大異。其種類之數雖亦極多，而各個組成物則難區別，其性狀皆極相類似。此等物質極穩定而不活潑，僅有極緩慢之化學變化；故以普通方法，不能達研究之目的。彼如煤、石油以及所謂腐植物等之化學，雖經極大努力與辛苦，亦不過漸明瞭其一

部分之性狀而已。

此等地殼中之碳素化合物，由實驗室之合成法或生物作用，而不能造成之，殊不可解。縱令依普通有機化學反應，亦可造成腐植物或樹脂狀化合物，與天然產者相同。然其研究，僅止於造成同樣物質，而其反應之經過，則全未加以考察。

但就生物化學以及地質學而言，此種考察，決不可忽視。故吾人對於一切生成物，縱令非主要之反應，亦不可不加研究。

生物質方面亦可生成不活潑之穩定碳素化合物。此等物質構成生物體之最穩定堅固部分，且生物之排泄物等中，亦有多量存在。而此等物質，在生物死後，則集中於其殘渣內，遂構成碳素礦物之主成分。觀碳素礦物之根源，常爲生物化學之生成物，或爲生物之殘渣與排泄物等，亦足以表現上述之關係。生物繼續產生不活潑物質，永無止境，同時其分解甚緩，故其堆積物與時俱增。

此種化合物之科學的研究，雖甚緩慢，然確有進步。其研究爲有機化學新闢之領域，今日正方興未艾，其目的在欲明瞭穩定而不活潑之碳素化合物，其分子結構如何？而其範圍不亞於原來之

有機化學。

此等化合物之研究，不特對於碳素原子之地球化學至關重要，且不問其穩定與否，亦不論其爲活性或非活性，若不考察所有一切碳素化合物，則碳素之異常特性，不能明瞭。

碳素之出產狀態，可分爲三種完全不同之礦床。此等礦床對於碳素之歷史，影響甚大。

（1）僅在生物圈，尤其在生存期間之生物體內，有數百萬種穩定之生物質碳素化合物。

（2）由生物體以外之地面化學作用生成數百萬種碳素化合物。

（3）生物之產出物、排泄物及排泄氣等。此等物質漸變成碳酸礦物，而脫離生命之化學平衡。

碳素之表成礦物，由生物之排泄物及死生物質等徐徐變成，其作用不僅支配碳素之地球化學而已，且氧素、氫素、氮素及硫素等元素之地球化學，亦受其支配焉。

三十八　碳素化合物之擴散

由上述諸作用所得之結果，碳素化合物起大規模之擴散現象，遂致生物圈內所有一切物質，皆有碳素侵入其中。生物之殘渣，任何處所，至少亦有其微痕存在，凡水、土壤以及生物圈內之其他一切礦物中，必由某種作用而含有碳素。

生物圈之一切物質，由地質變化，埋入地殼深層，遂致來源於生物之碳素，廣布於各地層中。蓋地殼之物質，幾莫不含有碳素。然此種微量之碳素化合物，常難知其正確之化學性，僅視其能漸漸變成游離狀態之碳素而已。就一般言之，可認其爲最穩定而分布最廣之二羣碳質物。其一羣爲含有氧素之腐植物，他一羣與醣類（卽碳水化物）相近似。兩者之終局，雖皆變成碳素，然醣類在表成及變成帶，甚爲堅牢，經過各地質時代，而仍保存其原狀。考碳質殘渣之化學特徵，常與其由來之生物質之分子結構有關係。

碳素之分散狀態，與溴素、碘素相比較，不過僅有一部分相類似。碳素分散後所成之最後產物爲天然碳素，卽石墨是也。此純碳素爲固體，地球上無其氣體或液體存在。又碳素原子，是否能成游離狀態？現在雖尙無何種證據，然因研究不充分，亦不能否認其可能性。

碳素有此種擴散狀態，對於地球化學史有重大之影響。試觀生物之特性，及地球上有多數不堅固之氣態碳素化合物存在，即爲說明碳素機構之二種事實。

任何處所發見之碳質痕跡，明明由各種根源而來。一方面爲顯微鏡的生物，或竟爲超顯微鏡的生物之最後殘滓，他一方面與極端擴散之氣態碳素化合物，分解而生成固體或液體之最後生成物相當。

生物死後，變質成氣態、液態及固態碳素化合物。此種變化，不問生物之大小，亦不問其爲人眼能見與否，皆爲共通之現象。然陸上之綠色植物及高等藻類之殘渣中，以腐植物爲主成分，而碳化氫類，則多爲不含動物質及葉綠素之植物、單細胞藻類、胞子、花粉等之殘滓。

最細微之生物，對於此種碳素之分散現象，其影響最大。

極細微之生物、微生物及超微生物等，其組成不如一般人所想像之簡單，往往有由三十種以上之化學元素以構成者，且與其周圍之物質有顯然不同之區別。此等生物爲化學活動之中心，同時爲極端微粒化狀態之液體或固體。此種物質之微粒化作用(pulvérisation, zerstäubung)，其

主要原因，以生物最爲有力，地殼上鮮有他物能與之比擬。而此種微粒化物之化學活動力最強，在普通實驗室內，亦爲常遇之事實。

欲使物質起微粒化現象，須先打破其凝結力。然液態或固態之微粒子，則與其表面張力卽毛細現象有關係，該物質若不破壞，則其關係永遠存在。查微粉狀物質及被微粉化之物質，僅存在於地球表面，而微粒子經過之時間若久，則漸漸固結成團，在變成圈上帶，已達到固結之狀態。卽由壓力之影響，化學作用及膠質作用等，一切微粒子漸被膠着而成堅牢之固態物質。

地面上成爲物質微粒化之原因者，如形成液態或固態薄膜皮之氣態物之分解作用，火山及氣孔之爆發，溶液噴出時生成膠狀物之影響，水或石油之噴泉，水或空氣活動時所有運搬物及生物之作用等是也。

微粒化作用之中，生物作用最爲有力，因其作用繼續不息，遂使多量之地殼物質變成微粒。生物亦變成特別之微粒，卽微生物是也。微生物不特極其細微，且有極複雜之構造；其化學活動旣甚偉大，又可使地球上其他生物變成同樣之「單位微粒」(staubeinheit)。

考生物之繁殖能力，在生物圈起變化之一切現象中，最爲重要。原子移動時所受生物之影響，卽生物之地球化學能，實存於此繁殖力中。此種微生物之地球化學活動，卽成爲微生物粒子與時俱增之繁殖現象，遂致地球上有微粒化之作用。

微生物死後，更能生成微粒子。然此等生物羣，其死亡現象比較少。生活中之生物體，最小限度亦與膠粒(micell)同大。膠粒之直徑達10^{-5}釐米，固無疑義，或竟達10^{-6}釐米，亦未可知，然決不至如分子，或原子之大(10^{-7}~10^{-8}cm.)。

要之，由微生物繁殖所起之「微粒化作用」，遂生成「微粒子」，其最小限度，與物理學所容許限度內之微分子同大。

微生物死亡及分解所生之極微粒子，惟特別地變時有之。然同樣之「有機性微粒」，在普通生命現象中亦可生成；尤其是形體大之生物，若死後不被其他生物食作營養料，卽可生成此種微粒。

此種生物殘滓皆富於碳素，其一部分成爲二氧化碳等氣態物質，他一部分則成爲細微之液

態或固態多碳「細塵」。此種細塵之質量極小，常被表面積大，而具有強表面張力之物質所吸着，即地面上所有物質，如表成礦物、地面水、各種氣體及生物體等皆吸收此等細塵。此等細塵在氣體成懸游狀態，在水中成溶膠質(sol)或乳濁質(emulsoid)，在固體中則侵入內部而存在，遂分散於生物圈之一切物質中，其總量甚大。

分散最細之碳素及碳素微粒，除上述者外，天然發生之含碳氣體分解時亦生成之。

此種天然氣體之一部分，其根源明明爲生物。按生物質多放散氣態揮發物——即臭氣——，而其一部分起化學變化，成爲堅牢不活潑之固體或液體，如松節油(terpen)之氧化物，即其例也。

氣體物質，如甲烷(CH_4)等之發生，常可在富於有機物而缺氧素之環境，例如停水底生物死後腐敗分解時見之。他一方面此等氣體，由初成乃至變成之種種根源，常由深地層揮發以達於地面，其量雖不甚大，而其發生則繼續不絕。

蓋包圍吾人之大氣中，到處分散有含碳氣體，又由種種原因而分解，遂至殘留細微粒子。

例如甲烷及其他碳化氫，遇暴風雨時自然界之放電作用，遂致分解是也。

由此種高度分散之氣態物質變成固態殘滓，即成爲細微之碳素微塵，以沈澱於吾人周圍之物質中，經過時間愈久，愈可成爲純碳素，若有活性炭存在，更可變成二氧化碳。

含有碳素之氣體，在變成圈內亦起同樣之分散，而生成微粉狀之碳素，應無疑問。如氣態物質分解成爲石墨，已在錫南及德國之帕索(Passau)等地方見之。然其氣體稱之爲一氧化碳或羰基金屬，而其碳素粒，則依該地圈之狀況，普通起再結晶現象，立即集中而形成大塊物質。

此種碳素之分散狀態，決不可等閑視之。其對於不可稽考之長遠地質時代，雖爲微渺之現象，然已成此偉大之結果，人皆知之矣。

如此分散極細之微粒，一方面生成多種複雜之物質，與同量之固體或液體相比較，可營自由迅速之化學反應。他一方面，如此形成之液狀或半液狀微粒子，在適當之條件下，可集中而成更大之液體。此種作用甚爲重要，如石油即天然碳化氫之地質史，即爲其適當之例。然而分散狀態若繼續存在，則此種碳素微粒子隨地質時代之經過，而各成爲二氧化碳或石墨，蓋起一定之循環變化

而未已也。

如此分散之碳素，由深地層之初成碳素化合物而來，固不待論；凡生物質及表成礦物內之碳素，莫不有相同之來源。蓋由深地層放出之含碳氣體，地面上常可發見之。

三十九　碳素之初成化合物

吾人所有初成碳素化合物之知識，極不充分。又其觀察材料亦極不正確，非用適當之假說，則不能綜述初成碳素之歷史。

一部分初成碳素，與花崗岩圈下部最深地殼之作用有關係，而此種作用之研究材料則甚少。如石油之無機成因假說，常出沒於科學界，今猶未見絕跡，蓋有若干事實，足以刺激科學家之想像心理，如柏德樓（M. Berthelot）、阿比喜（H. Abich）、門得雷葉失、莫阿桑（H. Moissan）等諸權威，均不免受其刺激，同時碳素之歷史，未解決之問題甚多，足供吾人研究之事實亦不少。

在未綜合論述之先，現列舉已知之事實如次。碳素之初成礦物，尚少有大量集中之例。其分布

最廣者爲碳酸鹽及醣類、尤以富於氧素之碳酸鹽爲最多。

碳素之初成化合物，可分爲含氧與不含氧二羣。而含氧之碳素化合物中，又可分爲富於氧素與缺乏氧素之二族。

如碳酸、碳酸鹽、高嶺土核鋁矽酸之複合物等，卽屬於第一羣第一族。此等物質之成因與碳酸有關係，碳酸在一定條件下，與鹽基結成鹽，或與鋁矽酸鹽結成加成物。如灰霞石卽爲後者之適例。

$$3Na_2Al_2Si_2O_8 \cdot Ca(HCO_3)_2$$

火成岩中有富於灰霞石者，其最大限度含有 1.7% 之二氧化碳（0.74% 之碳素）。含初成方解石之火成岩更富於碳素；例如西班牙比爾保之粗面岩（trachyte, Bilbao）含 7.69% 之 CO_2（2.09% C），挪威布勒革（Brögger）之 fenite，竟含 35.2% 之 CO_2（9.6% C）。

第一羣第二族所屬者，如一氧化碳（CO），氧硫化碳（CSO），甲醛（HCHO），甲酸（HCOOH），等是也。此等物質之生成，常須有水及硫化氫存在，且需高溫，然後由碳酸還元以得之。其存在之量雖不少，然在初成及變成之氣體中，僅發見其痕跡。硫碳酸及甲酸之衍生物，對於地殼之化學現象，

甚有重要之影響，其事至明。

一部分之一氧化碳，其生成可與二氧化碳全無關係。而其化合物如羰基鎳及羰基鐵等，已證明其存在。

第二羣所屬不含氧素之碳素化合物，如氣態碳化氫、甲烷、乙烷（C_2H_6）等之外，全部碳化氫皆是也。

上述二羣碳素化合物，其生成之化學條件，決不能兩立。且兩羣化合物之存在事實，即表示其由岩漿圈之不同部分而來。

綜合上述理論而言，可得最單純之多數假說。且察此種觀念之發達徑路，此等假說及見解，過於簡單，事實上未顧慮甚複雜之天然現象。今舉實例如次：

深地層中缺乏氧素，遂形成碳化氫，接近地面之岩漿，則發生碳酸氣，此已成爲一種假說；又有人主張謂深地層之金屬碳化物與水作用，則爲碳化氫之根源者。事實上若條件相同，果能由實驗以製成此種化合物。地球深部有金屬之碳化物存在，乃由隕石之研究以推定者也。根據此等推定，

故有人主張石油之礦床，亦由碳化物之分解以生成云。

然此種推論，據徹底研究之結果，已完全否認其爲石油之成因說。不過此種推論對於初成碳素，則可提出新問題。

含氧之碳素初成化合物，可先由二氧化碳以考察之。蓋碳酸鹽遇岩漿圈之溫度，必起分解，固不待言；恐其在變成圈深部，即起分解故也。含碳之鋁矽酸礦物，例如灰霞石、柱石(scapolite)等，其生成即由岩漿中之高嶺土核鋁矽酸礦與二氧化碳作用而來，恐二氧化碳與高溫之長石作用亦可生成之，蓋與二次的初成礦物相當。

二氧化碳縱令存在於初成帶深層，亦甚爲穩定，且其量甚多。然在此種深層，若假定與預先存在之碳酸礦物無關係，則二氧化碳如何生成，殊難認其有適當之條件。

地殼深層中無游離態之氧素存在，乃爲已知之事實。至於溫泉中偶然發見之氧素痕跡，恐尚有其他來源亦未可知。同時知其有生成二氧化碳之多數變化，或表成的化學作用（往往由於碳酸鹽之分解）等存在。僅含碳素之高度分散物，或富於碳素之高度分散物，在游離狀態之氧素環

境中，固可生成二氧化碳，然此種氧化作用，僅變成帶乃至表成帶有之。

在游離態氧素已消耗盡之深地層或黏液狀之岩漿中，此種分散碳素概被熔解，或再結晶成爲石墨或金鋼石，或竟成爲碳化氫以揮發，亦未可知。

火山爆發時，或由熄火山附近氣孔溫泉放出之鉅量二氧化碳氣，至少有一部分非由初成的合成而來，乃由深地層高溫使碳酸鹽分解，及變成岩石或表成岩石等熔融所致。此等岩石沈降於地殼深層，徐徐熔化，又在地面附近被湧出之火成岩包圍時，亦生同樣之結果。

然因火山及溫泉放出之碳酸氣，由初成帶（地殼深層）而來，故亦可稱之爲初成碳素化合物。但據得刻斯堪普(R. Delkeskamp)主張，溫泉之根源常爲表成或變成，蓋由地殼深層而來。事實上由火山放出碳酸氣之量，與表成或變成之量略同，對於上說亦可加以肯定。

所謂初成碳酸氣達於地面之量甚大。一八三三年，布西略氏始發見此種現象，對於大氣中碳酸氣之平衡，有重大之影響。

火山氣中之碳酸氣，往往達於鉅量，有時幾全由此氣所成。例如福刻(C. Fouqué)氏在希臘

多島海中有名之桑托林(Santorin)火山島上，發見其火山氣中有 95.37% 之碳酸氣，多維爾在意大利厄俄利亞 (Eolia) 島之碳酸氣孔 (mofette) 中，發見其有 97.1% 之 CO_2 存在。舊火山地方尤多碳酸氣，蓋爲其活動最終期之表現。反之，活火山地方之碳酸氣，不過爲其噴出氣之副成分而已。第三紀火山地方，例如歐洲之愛斐爾、俄味紐、雷恩、服革斯堡、西西里 (Eifel, Auvergne, Rhön, Vogelsberg, Sicily)，及高加索地方之氣所發出碳酸氣，幾成純粹狀態，自第三紀以來，訖今數百萬年，竟繼續不絕。

同樣之例，在亞洲、北美大陸，新西蘭島等地方，亦可見之。據布西略之計算，南美哥多伯西 (Cotopaxi) 火山每年放出之碳酸氣，超過 10^9 立方米以上，比當時巴黎工廠放出及人畜呼出之量（在七八十年前每年約有 8×10^6 立方米）更大。至於第三紀以前古代火山地方放出之碳酸氣，其量更巨。就其總量而言，似與大氣及水圈中之碳酸氣量略相等。

由地殼變動之結果，地面上湧出數萬溫泉，由此等溫泉放出之碳酸氣，其量亦與此相埒。

與火山無關之氮素及甲烷等氣態放散物中，亦常含有碳酸氣；且有時此氣竟爲其主成分。此

種放散現象，多集中於曾起造山作用或構造變動之斷層地方。又另一方面，放散氣體與石油、石炭等亦有關係；石油性天然煤氣中，屢屢有富於碳酸氣者，其大部分爲變成物，而實非初成物。

花崗岩類之石英中，包有顯微鏡的液態乃至氣態碳酸；此足以說明溫泉放出碳酸氣之來源。拉斯派勒斯（H. Laspeyres）氏曾就德國西部數處，研究此等關係。據彼研究，謂萊因（Rheinprovinz）花崗岩一立方仟米中，約含有9×10^{11}升之碳酸氣。由此觀之，花崗岩中之碳酸氣，其量比大氣中所含者更大。

無論火山地方之放散，或溫泉之放散，及花崗岩分解而生之碳酸氣，均與岩漿中之碳酸氣有關，其事至明。然此等氣之一部分，明明由方解石$CaCO_3$、白雲石$(Ca,Mg)C_2O_6$等表層岩熔解而來，蓋屬於變成或初成的根源也。

凡一切碳酸氣之根源，若謂其皆由岩漿而來，殊未見其必然如是。

據研究火山之結果，在此種條件下，表示合成碳酸氣之或然性比較大。但此種初成物之量，則比較甚少。

據高提爾(A. Gautier)、張伯苓(T. Chamberlin)、候特涅(K. Hüttner)、布崙(A. de Brun)、對(A. Day)氏、社斐德(E. Shepherd)、架革(T. Jagger)、阿倫(F. Allen)等研究火山及岩石之氣體，又在實驗室中實驗之結果，若在岩漿氣體實現之條件下，亦可生成碳酸氣。如此生成之氣體全量，可與火成岩在眞空中或不含水及氧之空氣中加熱熔解時發生者相與比較。由此等實驗所發生之氣體，其一部分原非存在於岩石中，乃由新化學作用而生成。即其一部爲岩石中之水與鐵化合物作用，始見其生成者也。

火山氣之放散量甚多者，如次述數種：即 H_2O, H_2, CH_4, CO_2, CO, HCOOH, CSO 等之外，不可忘者爲水，當岩石加熱或熔解時，固可見其發生，然恐岩漿水之一部分，乃由矽酸鹽及鋁矽酸鹽之水合物所分解而生成亦未可知。

今舉數例，以表示實驗研究已確定之反應如次：

$$CO_2+3H_2 \rightleftarrows CO+H_2O+2H_2 \qquad \text{白熱狀態}$$

$$3CO+2H_2O \rightleftarrows 2CO_2+2H_2+CO \qquad 1{,}200\sim1{,}590°C.$$

$$4CO+2H_2 \rightleftarrows 2H_2O+CO_2+3C \qquad 900\sim1,000°C.$$

$$4CO+8H_2 \rightleftarrows 2HO+CO_2+3CH_4 \qquad 1,200\sim1,220°C.$$

$$C+2H_2 \rightleftarrows CH_4 \qquad 500\sim1,000°C.$$

此外尚有類似之反應，而僅知可能性之反應則尚多。

就上列各式觀之，CO_2分解不息，而又再生。其生成所需之 C,CO,CH_4 等，又立即成爲分解物。而 CO, CH_4 及其他碳化氫氣，由二氧化碳分解，以出現成爲火山放散物，氧與鐵化合而留存於岩石中。高提爾以爲碳酸亞鐵鹽還原，即可生一氧化碳（此在火山岩漿之條件下應屬可能），候特涅則謂 CO_2 受 H_2 之作用，始生 CO（此亦爲確定之反應）。然此外同由高氏所研究之重要反應，亦可生成一氧化碳。

$$4CO+2H_2 \rightleftarrows 2H_2O+CO_2+3C$$

由此可逆反應，致火成岩及岩漿含有充分之游離碳素，又與水及碳酸作用而生多量之一氧化碳。此一氧化碳出於地面，遇游離氧素，當然變成二氧化碳，此乃架革氏之主張。

蓋 CO 在 1,200～1,250°C. 與水蒸氣作用，變成 CO_2，雖爲既知之事實，然若不考慮此變成作用，僅依上述複雜之平衡關係，則難證實 CO_2 爲初成化合物。故最初之初成碳素物爲純粹之碳素，而 CO, CO_2 則可視其爲第二次之初成化合物。石墨經過 CO 狀態而可變成 CO_2，但如此生成之 CO_2 量實不多。

惟此種碳素，實爲深地層中吸收氧素之物，不難想像而知之。

上所述者，皆屬確實之範圍。在地殼深層之諸條件下，確有 CO, CO_2, CH_4 等生成之可能性，且深地層中有初成碳素物及其他 C, CO_2, H_2O 鐵鹽等存在，已無疑問。

然事實上之眞相如何，亦難完全確定之，蓋地殼深層之條件極其複雜，吾人頗有莫測高深之慨。有人主張地下深層有多量金屬碳化物及一氧化碳存在，由同樣之反應，且生鉅量之碳化氫云。又有人謂地殼深層，亦起次述之反應者。此種反應可供實驗室內研究；由實驗證明其有二種：

$$CO+3H_2 \rightarrow CH_4+H_2O$$

$$Fe_2C+2H_2O \rightarrow 2FeO+CH_4$$

此外理論上尚有二種反應，亦屬可能：

$$3Fe_2C+Fe_2O_3\rightarrow 3CO+8Fe$$

$$3Fe_2C+CO_2\rightarrow 2CO+4Fe$$

又一氧化碳及金屬碳化物，有人謂此物存在於矽質地殼之下圈，及地球之金屬核（重質圈）（barysphere）中；如碳化氫即石油礦床之分布，與地殼之造山運動及構造運動有密切關係，其理由亦在是。然如地殼之造山運動及構造變化等，僅爲地殼表層之現象，又水之集中，亦限於表層帶。蓋假定水能浸透至深地殼之金屬核，實與現代所有地質學的概念相衝突故也。

然某種火成岩含有金屬之碳化物，由其產狀觀之，若與水作用，有生成碳化氫之可能性，亦無容疑。不過此種事實，僅有一種研究之實例，如格林蘭西邊狄斯科（Disco）及其他島上之玄武岩中，有 cohenite 及他種碳化物存在是也。此種礦物爲含鎳之碳化鐵，與金屬鐵共同產出，其量比隕鐵更多。至於狄斯科島玄武岩所含之碳素，雖有人謂其根源乃上昇於地面時，因途中貫穿石炭層所致，然尚無充分之證據。總之，無論何說，對於上述事實，應視作一種例外。

然在他種自然鐵礦中，亦見有同樣之碳化物存在。故若研究更精細，則可證明深層玄武岩中，一般均含有此種礦物，亦未可知。

但縱令一切玄武岩皆含有碳化物，由此物可生碳化氫，對於石油礦床之生成，亦不得認爲特別重要。蓋石油之地質學及化學，近年來長足進步，已確定其一般概念。卽石油爲生物質分解而來之變成礦物，不含初成之碳化氫。

在未述石油成因之先，對於初成之一氧化碳，尙略有數言說明。查初成之一氧化碳應與二氧化碳無成因之關係，例如次式所表之反應：

$$CO+3H_2 \rightarrow CH_4+H_2O$$

爲氣體之可逆反應，甲烷與水作用，亦可生一氧化碳。

一氧化碳在高溫時甚爲穩定，故其在地殼深部，不分解而集中存在。

此氣爲吸熱生成物，故其解離爲碳素及二氧化碳時，溫度愈上昇，則解離愈緩。

四十　石油及其生成　煤及煙煤之成因

對於石油問題素抱興趣之地質學者及化學者，普通認爲液狀石油及其固形物等有關係之碳質氣體，皆無初成之成因。然此問題尙難得確定之結論，主張無機成因者，亦不乏人。

據無機成因說，碳化氫之生成，非在地殼下之深部不可。此說之可能性，固不能遽加否認，然在吾人現有之知識範圍內，關於深地層之理化學條件，不過爲未能證明之一種推論而已。地面上之現象，足以表示此種深地層之作用者，惟有石油礦床一種。而石油礦床所產之大量碳化氫，假若皆由無機成因而來，則地面上隨處均可見更多之象徵；然事實恰相反，故無機成因說實難得一般人之公認。

吾人對於天然石油之化學組成，若深加討論，則隨思想之進展，不得不更創難於證明之多數新假說。

故爲避免此種煩難起見，暫時放棄此種複雜構成之思想，且就吾人所有地球分圈之見解，以

探究石油之地球化學經歷。夫如是，則石油之根源在生物，乃受強變質作用而成石油，已獲得一般人之確信矣。

石油礦床可分爲二種。其第一種爲貯藏石油之水成岩層；第二種爲浸潤石油之黏土質岩，即石油性瀝青泥板岩，所謂油頁岩(oil shale, bituminous shale)是也。此二種礦床，形狀雖異，現象則同。而第二種礦，就總量言，實含有大部分之天然石油，乃一般人竟忽視之。

考石油之二成分，乃碳化氫之種種有機混合物。其化學組成，久視爲無大差異，就各地質時代及各地方數百種石油研究之，據分析結果，碳氫二元素之百分比如次：

C　83~86%(~87%)

H　11~13%(~14%)

然研究愈進步，愈信石油有複雜之化學性。最初研究較爲精確者，爲北美之賓夕法尼亞油田，其出產之石油，含有甲烷，十八烷，以至固體石蠟屬(paraffin series)之碳化氫(通式爲 C_nH_{2n+2})。據馬可尼可夫(W. Markownikoff)研究，始證明俄國巴克油田之石油不含石蠟系物，而含別種

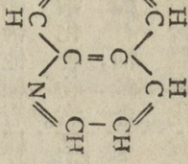
碳化氫，稱之爲環烷系(maphene series)。此爲含有穩定核之碳化氫，可以通式C_nH_{2n}表之。北美加利福尼亞石油中含有芳香族碳化氫(aromatic series)，如苯(benzene C_6H_6)卽其一種主成分。又有富於瀝青(asphalt)之石油，以及含C_nH_{2n-2}，C_nH_{2n-4}等碳化氫者。蓋各地之石油各含相異之碳化氫系混合物，其組成之所以不同者，乃因其根源之有機物不同，及地質條件與歷史等相異故也。

然石油中亦含他種有機物，久爲人所忽視。最近美國化學者麥柏利(C. Mabery)，證明石油中未有不含氮素化合物者。巴庫及加利福尼亞之石油含此種物質特多，卽令在賓夕法尼亞原油中，亦發見之。某種石油，竟含10～20%以上之氮素物。而此種氮素化合物，任在何種石油皆相同，故其與動植物中所含氮素化合物之分解生成物有關係，已甚明瞭；觀其在高溫時卽起分解，故知其不能由地殼深層以產出。

人類對於此種貴重之產物，徒事浪費而不知悔，卽至現今，尙繼續浪費不已，毫未考慮將來之結果，殊屬憾事。蓋此物爲甲基喹啉(methyl-quinoléine)之衍生物，其發見對於石油之成因問題，

實有重要意義存焉。

甲基喹啉含有吡啶(pyridine)核及苯核。據刻爾涅(W. Körner)研究，推定喹啉之最適當結構式如次：



上式中之H，若各以甲基(CH_3)取代之，可得七種甲基喹啉，且事實上有此七種化合物存在。喹啉、甲基喹啉及吡啶等，對於生物質所含有機氮素化合物之結構，實有重要之效用，由動植物之種種物質分解，即易得之。喹啉爲植物鹼(vegetable alkaloid)之母體，其核甚堅牢，廣布於吾人周圍之綠色植物中。據學者研究，謂植物鹼之生成，與蛋白質有關係云。

石油中含有之氮素化合物，其量甚鉅，觀其總量約達十萬公噸乃至百萬公噸，則其成因，不可

向生物以外物質求之。在高溫度時，甲基墮啉不能生成，惟在比 100～150°C. 稍高之範圍內，則甚穩定。有金屬碳化物、二氧化碳或一氧化碳等存在時，若適爲碳化氫生成之溫度，則可見其起分解現象。

氮素之地球化學史，不能與其無機成因說同時兩立。蓋其地球化學史與碳素相類似，不過氮素常成爲氣體，多量集中於地面上，是其異點耳。然而一部分之游離氮素，屬於表成的成因，其事至明。

游離之氮素，恰如碳素地球史上之碳酸氣，亦爲氮素之主要初生物。而此元素，無論在地殼之何分圈，皆甚穩定。

地殼深層中，有氮化金屬（nitride metallique）存在之可能。在挨特納火山之熔岩上，可發見氮化鐵（sylvestrite）之薄皮，此蓋爲空氣中之氮素與熱熔岩作用而生成之物。布崙氏曾謂氮化鐵屢爲熔岩之成分，且假定有氮化矽（marignacite）存在。但此等物質，尚須待將來之研究，而後能確定之。

由火山放出之物質中，確發見氯化銨及氟化銨存在。察生物之氮素餘滓被熔岩分解而生成之物，不過爲其一部分。如意大利之托斯卡那(Toscana)及加利福尼亞之索科馬(Sokoma)等間歇泉地方，至少由地面下200米之深處，有190°C.之過熱水騰湧而出，則此等地方所有大部分之氨發散物，實難認其由生物餘滓而來。又此等間歇泉，同時噴出岩漿的氣體。

含有氨之高嶺土核鋁矽酸鹽，其外觀成爲同像混合結晶，可於火山岩或火成岩等礦物中發見之。故火成岩中有初次的氮素存在，亦屬事實。

又據高提爾之假定，似尚有氰化物(cyanide)及硫氰化物(rhodanide)存在。

此等氮素化合物皆僅有簡單之化學組成，一般爲二成分之化合物。至如甲基嗪啉之複雜物質，尚未見其由生物以外之物質以生成。又氮素與碳、氧、氫及硫等元素所形成之化合物，亦由生物之影響而來。

在地面上諸現象中，尚有他種能(energy)之活動，與此適同一方向，而形成更簡單之化合物。此卽紫外線及放電之作用，氨及硝酸氣，卽由此等影響亦可生成。所謂硝化作用，卽氮素之氧化

作用，與生物有密切關係，要之，游離氮素實爲生物之產物無疑也。

石油中之甲基喹啉，若果如前述，爲生物中氮素之變成物，則完全與氮素之地球化學史相一致。反之，喹啉核之生成，則有別種解說；例如假定其原因在岩漿，則由實驗以證明氮素歷史上之事實，不特不能完全說明，且難免發生矛盾現象。

又就石油中其他元素而言，如硫、氧、磷等，亦得同樣之結論。

此等元素之分量雖不一定，然石油中常含有之。例如得克薩斯及路易斯安那之原油中，含有2.75%之硫，其一部分成游離狀態，溶解而存在。石油中所含之硫化合物，就噻吩(thiophène)而言，研究雖尚不充分，但有環狀核，極其穩定。此與邁爾 V. (V. Meyer)由煤焦油(coal-tar)中發見之噻吩(C_4H_4S)應屬於同類之物。

僅就此種特殊之實例而言，已可使吾人窺見一般現象。即自然界中之化合物，其含有堅固環狀核之分子者，分布最廣；如石油中之氮素化合物及硫素化合物，高嶺土核鋁矽酸，及煤中之有機化合物，皆其例也。

石油、土瀝青及琥珀等之硫化物，往往有二次的成因說。蓋此等礦物生成後始吸收硫，而此硫之來源，則爲存在於各處之硫化氫及硫酸鹽等，因其易與上述各礦物作用故也。然而煤中亦含有同樣之環狀硫化合物，且煤不如石油之有移動性，故此假說不適用於煤。同時，此說對於石油等，亦可謂其終歸無用。

石油中所含之氧素量，有時達6%，而一般則在3%以下。其所含氧素之量雖比氮量多，然關於此種氧素之研究則甚少。蓋久認其爲二次的成因，多謂其由大氣及地面水中之氧而來故也。此種說明，一部分固與事實相一致，然石油中實有初次的氧化物存在，其量不可忽視，已無容疑。例如石油中之環烷酸（naphthenic acid）、脂肪酸及膽石醇（cholesterine）衍生物等，皆屬於此種氧素化合物。

石油之旋光性卽轉偏極面性（rotary polarization），依馬卡孫（J. Marcusson）及恩格勒（C. Engler）之假說，亦以此膽石醇之存在爲前提。然石油中果有此物存在否，則尙未確實證明。

膽石醇爲高級一元醇，其結構雖尚未決定，然其在生物化學上有重要之影響。此物由植物而來，先存於食料中，被高等動物取食，遂集中於此等動物之有機物。卵黃中含有2%以上之膽石醇，人類腦漿中含之更多。此外在動物組織及漿液中，以及土壤中，皆常發見之。

最近（一九二七至一九二八年）澤林斯基(N. D. Zelinsky)以膽石醇爲原料，由簡單之化學反應，曾製得一種碳化氫，其性狀與石油相同。此研究對於馬卡孫及恩格勒之假說，大有裨益，卽石油中無膽石醇存在，惟含有其分解物，故呈旋光性。

石油中之磷，至一九二二年，始在加利福尼亞原油中發見，其量(0.01%)比普通水中所含者更大。石油中之磷，形成何種化合物，雖尚未明，然其存在，應歸於生物之成因，則不失爲可注意之事實。

石油有光學的性質，卽爲無機成因說不可能之佐證。反之，對於有機成因說，實有難爭之理由存焉。

察初成之無機碳化氫無光學活動性。自巴斯德以來，已知天然碳素之生異極對稱構造(on-

antiomorphism)，以生物界爲唯一之適當環境。蓋對稱原理，爲自然現象最重要之原則。巴斯德爲正當了解此原則之第一人。法國有名之物理學者居禮(Pierre Curie)綜合此種概念，曾努力創設對稱物理現象之一定學說。彼闡明其在理論與實際均屬重要，將上述對稱概念加入空間因次(dimension)之科學根本概念中。異極對稱之現象，依非對稱原理，僅由同樣之異極對稱原因而生成。因生物由異極構造之化學組成以構成，故可生成新異極物。

生物之生存，雖經幾億萬年亦未斷絕；又自然界中，不能由無機質以自然發生出生物質；此皆吾人所素悉者也。

「凡生物必由生物發生」(omne vivum ex vivo)，此格言已包含於居禮氏之實驗知識中。

然據無機成因說，假定石油之生成爲地下深層或初成圈，則無生物質存在。故若欲說明石油之異極對稱生成於地下深層，則不能不假定彼處有異極對稱界，卽應有生物界存在。然而吾人現在之科學知識，尙難得此種證據。

就實證科學之範圍而言，碳素礦物之有光學性，其原因必歸諸生物界——此乃含碳素之分子構造可存在之唯一異極對稱自然界也。石油之光學活性，自發見以來，雖已經過長年日月，然竟等閑視之，且多種石油成因說亦未加以考慮，殊覺可怪。

發見石油之旋光性者，爲一八四五年法國之物理學者比俄（T. Biot）。然彼未注意其有何意義，不過在實驗轉偏極面時，所用之各種材料中，亦列舉石油而已。

此重要之發見，學界竟完全未加注意，直至五十五年以後，始由俄國化學者瓦爾敦（P. Walden）再發見之。彼不僅確定石油之光學活性，且確定其他多種物質亦有同樣之性質，實爲科學上不可忘之記錄。由其結論，遂至推定石油之生物化學成因說。自瓦爾敦研究以來，世界各地之石油礦床，皆就其光學性以測定之，結局遂知世界上無光學活性之石油，決不存在。比俄所檢定之石油甚屬特殊，呈現非常強之左旋性。然其後曾經檢定之石油，則皆爲右旋性，及彼發表論文後數年，始發見左旋性之石油，其轉偏極面之度數，遠在比俄所測定者之下。於是遂確定石油爲有光學活性之物質；且此類碳素化合物，完全由生物質而來。察一切碳素化合物，其無生物化學的成因者，皆無

光學活性。在生物界，左旋性之物質佔大部分，但在石油，則以右旋性最值注意。欲解決此問題，似須待更徹底之研究。蓋此種特殊集積物質，其所以有一定方向之旋光性者，乃表現生成石油時媒質之異極非對稱無疑也。

據化學上之研究結果，證明石油之生成，其原因不可不屬於生物化學，初成碳素物，對於石油成分不發生影響。無論生物學者或地質學者，殊途同歸，均得相同之結論。

然石油非表成礦物，在地面上有氧素之變質作用，不能生成石油。其生成時之溫度雖不甚高，然要之屬於變成礦物乃至深部表成礦物（深層風化物）。而其根源不可求之於地殼深部，故不得不歸諸生物質。

但在地面之普通條件下，生物質不能變成石油。故在生物圈內，非有足以使生物質生成石油之適當特殊現象不可。此種現象，久未闡明，雖有人提議及之，然往往亦未加重視，不過發表若干是是而非之推論已耳。此種推論，雖多數散見於科學書上，但其中亦有與近代學說相近似者。例如六十年前美國之紐柏立(S. Newberry)及阿比喜(H. Abich)，爲當時著名之地質學者，其見解即

屬之。

多數複雜之自然現象中，有爲大規模生成石油之原因者，然世人久未認識其重要，至現世紀以來始能辨別之。

欲了解現世所認識之現象，須蒐集多方面之艱難研究。蓋所謂沼澤學(moorkunde)、植物羣落學(ecologie)、湖沼學(limnologie)等，已成爲新科學，而泥煤、土壤、水底泥土之研究，已進至新方向；由斯干的那維亞、俄國、德國、英、美諸國之北方學者，努力研究，自然界之科學，最近十年，面目一新。

石油生成之初期，與停止淡水或淡鹹水中之死生物及動植物餘滓之分解，恐有關係，（但據最近研究已確認石油之生成乃由海底腐泥而來。譯者註）。此等作用，須與吾人周圍所起諸作用之科學研究相對照，且須明瞭天然產煤（石炭）之生成根源以後，始可說明之。若就此等作用全體加以考察，則石油與煤之生成，皆屬同一自然作用，皆爲已死生物在無氧素之水底分解變成者也。由此分解結果所生之礦物，不特依分解時外界之條件而不同，且視原料生物質之化學性如何，

而發生差異。此種信念漸至確定，實有根本之意義存焉。

對於此種見地發生大影響者，爲前世紀末至現世紀初期，法國古植物學者勒諾爾（B. Renault）之研究；然其著作，當時人未能了解，至其弟子柏特蘭C.（C. E. Bertrand），始發表現代通行見解之概要。彼等曾研究膠石炭（boghead coal）及瀝青煤之來源，自生物學見地觀之，推論其由單細胞藻類及細微動物所變成，又就化學組成及構造，考究其與普煤相異之點，更認識此等作用與石油之生成作用有關係。

德國古植物學者坡托尼（H. Potonié），曾研究自然界現象中水底之生物死體，由其種種性質及生物之種類，遂認明各種不同之生成物。彼證明淡水底之泥土，其根源與煤迥異，即富於腐泥（sapropelite, sapropol），大部分由動物性或浮游生物之餘滓而來，含有固態或膠態之多量碳化氫。而煤則由植物之木質所變成，非由此等腐泥而來云。

坡托尼及其他學者等，對於生物或有機物分解所生之廣義的岩石，特名之曰可燃性生物岩（kaustobiolith），以與其他生物岩即不燃性生物岩（akaustobiolith）相區別。其全部研究不在

本書之範圍內，固難詳述，然其主要點則謂生物質分解，可分爲三態：（1）單細胞藻類及微細動物之分解物，可生成富於碳化氫之瀝青泥板岩、膠石炭岩及其類似物；（2）綠色沼澤蘚苔類及沼澤草類之分解物則成泥煤(torf)；（3）沼地森林（溼林）植物含有木質，則生石炭，卽煤是也。

上所述者，僅就其最終之作用而言，固不待論。現世正在進行之各種作用，若就各種水體（湖沼河川海洋等之水）及其所生之變質生物餘滓等加以研究，則過去所有各種作用，卽可呈現於吾人之眼前。

泥煤、瀝青煤或石炭生成時之分解作用，乃在缺乏氧素之環境內進行。此種作用，可於生物圈或與此圈相去不遠之地帶——卽水成圈上帶——上見之。

此等礦物之生成，與生物化學作用有關係，其事至明。此時呈現重要效力者，乃爲嫌氣性生物(anaerobe)卽細菌是也。蓋細菌可侵入地殼深層，離去氧素存在之風化帶，竟能生存於比平均氣溫更高之地下恆溫地殼中。一八九一年斯塔普(F. Stapff)考察此種細菌之後，至近時一九二六

年，由巴斯廷(E. Bastin)及烏欽斯基(N. Uschinsky)研究之，遂更確定其不誣。即在北美及裏海沿岸巴庫附近及阿普社龍半島等地方之油田，其地下深至一仟米處，曾發見此種細菌。由此發見，則生物圈，尤其是嫌氣性生物之界限，更有擴展至地下深層之勢。蓋深地層中之化學反應須有生物存在，而其狀況則與現在地面上生存者大異。

生物餘滓，多由特殊地質現象，以達於地下深層。即水中生物死後，起分解集中現象，漸被堆積物埋入地中，或由地殼之直接變動，致堆積於水底之有機物遠達地下深部。

據觀察結果，現世之泥煤或腐泥，其下底部已起化學變化，堆積物漸漸變硬，而成眞正之泥煤或腐泥岩(sapropelite)。

地質條件若適當，則此等最後生成物可於比較短之時間內生成。此種迅速變化之象徵，例如有機物變成石油時有貝殼存在，或同一石炭層間有石炭礫存在等，一見即足以使觀察者惑疑難解。然由此等物質之生物化學見地以觀諸例，且知細菌對於其生成作用有力，則疑問亦易解決矣。

可燃性岩石之生成與微生物有關係，此關係屬於微生物學問題，而其研究現不過爲開始時

期。然欲得其詳細知識，爲期亦不遠。即在現世，此等嫌氣性細菌關係亦甚大，由此漸可決定石油生成作用之境界。

蓋石油之生成作用，不能出於生物存在之範圍外。其溫度不可過 60~70° C. 以上，恐需更低之溫度。溫度若高，則僅生氫態物質，有時或全無碳化氫留存於其中。由地下增溫之情況考之，在1500米以下之深地層，似已不起石油之生成作用。其最適當之深度，以地面下百米乃至數百米有或然性，亦未可知也。

此種生物餘滓所起生物化學分解，可生種種生成物；即就吾人現在之知識而言，已知生物種類不同，則生成物亦相異。蓋各個生物縱令挾雜存在於他種生物間，亦生成化學組成特異之分解物。普通可燃性岩之種類，與其主體之生物質有關係；故欲知石油、石炭、泥煤、瀝青頁岩等之根源，須由有關係之生物體所生化合物以求之。生物體之化學組成，如此其重要，吾人往往等閑視之，豈不可惜！

石油及其他可燃性生物岩之生成，非先具備充分之基礎條件不可。即須集中化學成分一定

之多量生物，又須在水中有適宜於分解之一定條件是也。

歷來對於可燃性生物岩之觀察，概認定其生成作用，起於其根源生物原存在之地方。其所以多變更地點者，非生物自身，乃以前生物生存之地點，受其後地質現象之影響所致。

同樣，流動性之石油，亦與此等岩層相同。大部分石油礦床，乃存在於最初生成之原地。其所謂石油移動現象，乃受其他影響所致，非石油礦床之特徵。

石油之產出狀況，與地殼變動有密切關係，其集中於構造變亂之地域，與上述結論暗相符合。煤層之產出，亦多在同樣之地域。其根本問題，不在石油之流動性，乃在可燃性岩之生成條件及生物餘滓之保存條件——以水爲宜——等外界條件也。

此種構造上發生移動之地域——例如與地向斜帶運動（geosyncline）有關連之多水地域——甚宜於成爲淡水盆地及其沈降作用，由此可見生物之集中，又得見可燃性生物岩發達成爲厚層。

就生物之總量而言，其變成可燃性生物岩者，不過一小部分，觀下文可知之。此小部分乃在生

物質循環之途中，脫離而出之物，不過爲生物界所含諸元素總量之千分之一乃至萬分之一而已。其他各元素，則完全由生物質以歸還其穩定之區域內。

然此微小之部分，已足以使吾人由自然界採取鉅量之煤及石油，其所含之碳素，無慮數億公噸。且此乃由特殊地質現象，致生物餘滓在生物圈受特殊生物作用，恰如脫離比較短之地質時代而生成此等礦物。惟此種外界條件，僅存在於地質構造有變動之區域內。此時究竟生成石油或煤，則須視生物質之性質而定。此等生物原集中於生物圈之陸地上，其後經地質作用，遂致與生物圈上帶相隔頗遠。

石油及煤之生成，乃由生物圈內一定形式之生物密集羣落而來。所謂一定形式者，卽陸地上一定淡水（有時爲半鹹水）生物之集中體是也。由此等集中體之化學性及組成，卽可決定變成何種可燃性生物岩。

由此種作用之結果，例如「固態之煤、液態之石油」，不特物理性迥然不同，且生成化學組成大異之物質。

石炭（卽煤）之化學最近異常發達，遂至與石油化學成完全不同之狀態。在石炭方面，碳化氫隱而不現，其主成分似爲苯之衍生物；卽複雜之芳香族化合物，所謂木質(lignin)是也。木質似隨植物之進化而發生，乃一羣富於碳素之有機物。察化合物分子內有穩定之環狀核者，其在他種天然化合物中，同樣再構成其主成分，如木質卽其一例。

假若石油及煤之化學知識，能應用之於生物，則各生物之種類，固可由化學方法以決定之。然至現在，生物學對於此種問題，不過僅加以注意而已，尙未達成功之域也。

可燃性生物岩之生成，吾人所有見解尙不能暢行無阻，上述基礎概念，亦未得一般人之承認。然而特殊思想之發展經過，可與「事實之直接研究」得相同結論，如以下所述者，亦可證明此處之解說正確不誣。

內諾爾及柏特蘭兩氏證明各種石炭之生物根源各不同，遂使學界受莫大之刺激。彼等之研究，對於多數後進學者多方面之成就，甚有大影響。

此方面之研究，由數代學者單獨進行，各不相謀。卽就各個油田，研究其地方產狀之地史，未得

一般普遍之結論，故如現在吾人周圍自然界之作用，亦幾無從與之比較。然吾人今日對於此問題之見解，在比利時古學者之著述中，亦可明白發見之。即布利阿爾（A. Briard）之思想，經部依（V. Bouhy）所改進者是也；然此思想，既未得多數學者注意，對於學界亦未發生何種影響。至於美國學者俄爾通（L. Orton）及紐柏立等之見解，與吾人現在之見解雖無大差，然其研究亦在久遠之後代。

對於此等問題，凡地質學者及古植物學者所行之多數研究中，固有甚爲重要者存焉。本書不能全部列舉而出，此處不過略舉菲約爾（H. Filhol），格朗丟利（C. Grand'Eury），及查勒斯基（M. Zalessky）等之名而已。

一方面有石炭生成，他一方面有大規模植物集中於沼澤等地，二者之間，關係至爲密切。後者爲潤溼地域，尤以大河口、三角洲、大陸沿岸、島嶼及受潮汐影響之低地等是也。此等地方，形成生物之大規模集團，可發見多量之分解有機物存在。陸地上之局部生物質集中，似以此等爲最大。

沼澤地方所有之植物中，如草類及蘚苔類，不能作石油及煤之原質。就褐煤及煙煤而言，其根

源應視爲亞熱帶低地之沼澤森林，或如現在各地所見大河之沼澤林等。如北美佛羅里達省之沼澤紫杉林（taxodium），若地質條件適當，則數萬年之後，或將生成石炭層。現在北美所有木材之資源，與此紫杉林有關係，其單面積內所有之木材量，決非歐洲中緯度之森林等所可比擬。同樣，如發吉利亞及北卡羅來納省之 Dismal Swamp 大森林，又俄勒岡省克剌麥斯河上流之湖沼地帶等，若不受人爲的妨害，亦可形成石炭層。此外，比此等森林無優劣可分，而保持原始狀態之大河谷生物質，亦有其存在者。如亞馬孫、俄利諾壳、贊鼻齊、鄂畢及伊爾的什（Amazon, Orinoko, Sambesi, Obi, Irtisch）等河及其支流諸流域卽屬之。此等河流之流水，含多量有機物，其流不甚速，徐徐貫於湖沼中，其河口及三角洲，甚足以表示煤田之生成初期景況。鄂畢河流域之發斯攸岡斯克（Vass-jugansk）海，其面積達數千平方仟米。至於大陸島嶼沿岸低地帶，熱帶亞熱帶之氾濫地帶等，凡有森林之地域，其面積更爲廣大。如英國之夾煤層（coal measure），卽爲昔日大河或三角洲之變化餘留物。

膠石炭、瀝青頁岩及石油等之成因，則與上述者迥異。其生成之開始地點，蓋爲含生物質而又

不甚深之淡水、或半鹹水湖、或停水湖等。其生物質亦與石炭或泥煤初期水體中所含者不同，以浮游生物、單細胞藻類、細微動物、植物之胞子等爲主。此等生物恰如歐洲所謂「水花」(wasser-blühen; fleur d'eau)之狀，繁殖極速，形成多量之集中，一旦成爲「生命波」(lebensflut; la vague de la vie)，有時僅數小時之間，竟有幾百億單細胞類遮蔽水體之表面。據調查結果，在種種條件之下，能起此種「水花」之藻類，已知者約有數十種云。

停水表面有多數浮游植物時，足以致水棲動物之繁榮。而此動「生命波」不過曇花一現，即歸死滅，死後又不成爲食料供其他動物所食，僅腐朽成爲餘滓以沈於水底，形成大量之堆積物。此種現象，即成爲所謂腐泥，富於脂肪及氮素化合物，與石油有密切之關係。現在北半球——此乃冰期大冰原之遺迹——之多數湖沼底，及西伯利亞西部之無數湖沼等區域，即適合於此等生物羣之繁殖，故腐泥有逐日生成之勢。

熱帶地方之河流，有形成停滯狀態之黑水者，其中亦往往有生物死體徐起分解之現象。此種水中，恰如泥煤富於可溶性有機物質，但缺少微生物，故有機物僅徐徐變成氣態生成物。有時成爲

少量之動物餘滓，而主成分則爲風運之胞子及集氮菌類者。

生物質分解時所起之二作用——生成石油或煤——，不必常分離進行。反之，兩者幾常共存於同一地方。蓋若木質多時，在適當環境中，可生成煤，若腐泥質多時，則生成瀝青岩及石油。若此種作用之規模甚大，固生成多量有機物；然在吾人周圍，實有此種分解物分散存在，不過其量極微而已。但地殼之作用殊極巧妙，能使此等生物餘滓集中，形成顯著之礦床。而此種作用，不特現在如此，凡所有地質時代，無論大陸或島嶼之沿岸，皆如此演進而來也。

此卽地殼之變質作用，而此種碳素物最終成爲純碳素及二氧化碳。然自分解起至達此最後狀態爲止，須經數百萬年始成爲煤及瀝青，其徐緩之變質作用，常繼續不已。

地質學者研究鉅量之石油礦床，亦漸得同樣之見解。華盛頓之美國地質調查所及彼得格勒之俄國地質調查委員會，各研究世界最大之石油礦床，經十數年之努力，對於石油之成因，幾得同樣之結論。卽石油屬於水成礦床之變成礦物，原堆積於海水底或半鹹水底。其礦床或存於一定層位之砂岩、砂層，或產於石灰岩、泥板岩中；自古生代志留紀(silurian)以來，至新生代第三紀鮮新

世(pliocene)在各地質時代皆可發見其重要之礦床。又察石油礦床中或有富於生物餘滓之岩石(卽腐泥岩)存在，或有其曾經存在之痕跡。由此事實，可證明形成石油礦床之有機物，必存於礦床區域或其附近無疑也。

石油生成作用之機巧如何？雖不甚詳，此後待研究之問題雖尙多，然其根本事實，已漸可決定。卽石油乃由一定化學組成之生物質而來，是爲根本原則。蓋石油爲地面上生成之變成礦物，非地殼深部之初成礦物也。

四十一　碳素之主要循環

地殼各分圈中最穩定之碳素物，乃爲自然碳素。

然至地球深部玄武岩圈，則一部分自然碳素成不穩定之狀態，遂至有生成金屬之碳化物或一氧化碳之勢。

初成之自然碳素，在高溫高壓之熱力學地球分圈，有減低其化學活動力之表示。其最活動時，

乃在地面附近。

碳素組成物之量，愈接近地面而愈增，及生物圈則達最大，由生物質之作用，可生成無數之碳素化合物。而此等碳素化合物徐變成自然碳素（卽石墨）之事實，乃爲碳素之初次地球化學循環中最顯著之特徵。

所謂生物圈乃生物界之地球分圈。凡一切礦素皆由生物而同化，在本圈內生成之碳素礦物，皆由生物而來。至於因地質現象以移於變成圈之碳素變成礦物，其過去亦與生物有關係，不外爲表成礦物之與生物有關連者變質而成也。

二氧化碳爲初成礦物，同時又爲變成礦物，乃生物圈中達多量之唯一碳素化合物。

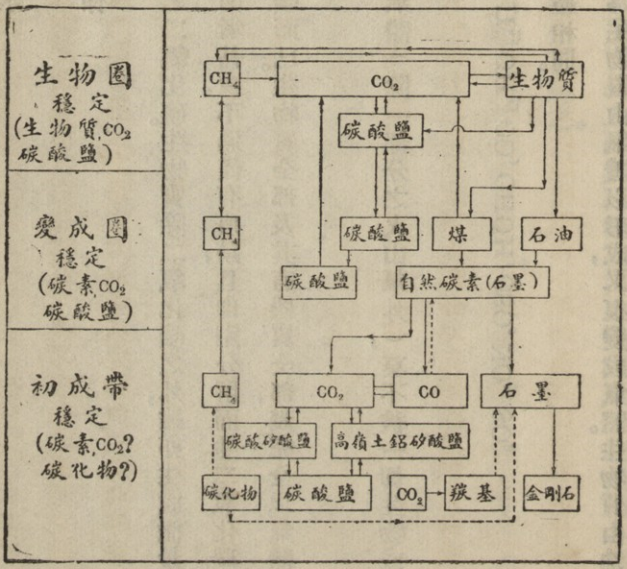
二氧化碳之初成根源，已如前述，不過僅有一部分已經肯定。其大部分在地殼深層，則由碳酸鹽而來。碳酸鹽幾常屬於表成乃至變成礦物。在火成岩中，除特殊之條件外，未見其生成。

地面上有合成二氧化碳之多數化學作用，甚堪注意。此等化學作用明明與生物質有關係，生物與游離氧素作用時，卽生此物。

游離氧素易與細微粉狀之碳素物化合，即如石墨細粉，亦可氧化之。又在生物界之環境內，由呼吸作用，可生大量之二氧化碳。

碳化氫之中，例如甲烷，固明明由深地層而來，然其初成根源，不過一小部分。其大部分則或產於表成圈，例如生物化學所生之甲烷，又或如煤坑氣及與造山現象有關係之放散氣，乃由水成圈或變成圈上層以生成。水成圈或變成圈上層所生之大量氣體，雖往往與石油有關係，但亦未盡然也。

第十一表　碳素之循環



前列舉碳素之主要循環如第十一表所示。

四十二　地球氣體與生物質之關係

碳素之歷史中，最重要者，爲由生物所生之二氧化碳。生物質除二氧化碳之外，雖亦生成微量之甲烷及一氧化碳，然此等氣體存在於生物圈者甚少，不過僅有痕跡，且即刻分解而生二氧化碳。地球氣體與生物質之關係，不僅二氧化碳而已。生物質全部及其有機質全部，幾完全以氣體作原料而生成。

生物與氣體之關係，試觀地上所有一切氣體（除一部分之火山氣外），莫不被一切生物或特殊生物所利用，可以知之。

$O, CO_2, H_2O, N_2, NH_3, H_2S, SO_2, H_2, CH_4, CO, CHOH, CSO, NO_2, SO_3$

此等氣體，與生物死後分解時所生者幾盡相同。

在生物之化學經歷中，其最重要之現象，爲生物質由氣體以形成，又復變成氣體。生物質由地

上氣體所攝取之原子量，達全物質全量之97～98%以上，而其死後放出之氣體量，雖較此稍小，然其數之位次則相同。試觀下文所述數量，即可充分了解之。

由此種現象每年移動之物質量甚爲鉅大，超出一般所想像以上，且甚爲重要。地殼下達十六仟米之深處爲止，其總質量雖有 2×10^{19} 公噸，然生物質之總量，不過爲其千分之一，約有 10^{14}～10^{16} 公噸。而生物質十分之九以上，則由氣體以生成。

故每年通過生物質中之氣體，其量甚鉅。與氣圈全體總量 6×10^{18} 公噸比較，應爲其數倍，不言而明。

距今八十餘年以前，杜馬及布西略曾作生物界之化學統計，稱生物界爲「大氣之附屬物」(un appendice de l'atmosphère)。其所以如此命名者，蓋知大氣與生物間常交換氣體而不息，且其量幾相同故也。

杜馬之言曰：「本講義大致已告完結，約而言之，地球之原始氣圈，可分爲三大部分：第一部成爲現在氣圈之空氣，第二部以植物界爲代表，第三部則爲動物界」。……「植物由空氣攝取之一

切物質，讓與動物，動物又歸還之於空氣。此種永遠之循環，爲生命之作用，且表現而出之，蓋物質不過僅變換地位而已。空氣中之原料，漸在植物界中組織成物體，不變其機能以入於動物界，遂至供思想之機關。已成功之物不久歸於殘廢，又送還於原來之貯藏庫（大氣）中，而成最初之原質」云。

此種見解，現世紀雖稍有改良，然其大綱依然存在。若假定生物與大氣有不可分之關係，則生物者，乃變化大氣中之氣體，使其成爲膠狀物、液體或固體耳。生物質不僅爲大氣之附屬物，且爲地球上最大之現象；若不問其容積如何，止比較其質量，則氣圈恐比生物質少，亦未可知。

徹底研究此等現象，則地殼中原子移動時所受生物質之影響，卽生物質之地球化學能，其作用僅與氣圈有密切關係，可斷言也。

四十三　生物質與碳素之歷史

生物在碳素地球化學史上，佔重要之地位，已不待論。碳素爲生物質不可或缺之物，然生物質不僅單有碳素。生物在地殼上之機能甚形複雜，而其特性，亦非單獨碳素化合物之性狀。

數年以前，有一種思想盛行於一時，卽謂能生活之複雜碳素組成物，及能生活之蛋白質，存在於自然界；然此思想，與地球化學證明之事實，完全矛盾。蓋生物質不僅爲存在於地殼之蛋白質或其他碳素化合物所能代表，又非稍具規則之混合原形質所能說明。所謂生物質，乃指生物全體而言，其作用須以全質量爲根據。或謂生物之作用集中於蛋白質，其生成之氧素或二氧化碳等，不過可視成副作用；此亦與事實不一致。

事實上，凡地殼所有一切化學作用，皆包括於生物之勢力範圍內，地殼所有一切元素之地球化學史，幾完全受其支配。

碳素之地球化學史，對於生物之地球歷史，有絕大之勢力，然現在吾人所知者，不過其微弱反映中之若干問題而已。

此等問題中，有次列四項，簡單述之如下：（1）生物質在地面上之分布；（2）生物質之質量及其化學組成；（3）生物質與二氧化碳氣之關係；（4）元素之地球化學所受生物質作用之影響是也。

四十四　生物質之分布及其生殖與地球化學之重要關係

生物在地面上之分布，爲其最可驚異之特性，足以反映其氣體之根源。無生物界除氣體之外，完全無此種類似之現象存在。生物與氣體相類似一點，就理論言，既相當正確，就統計現象研究之，亦可得其例證。氣體定律與生物繁殖二者之間，有不少之共同點存焉。

氣體之壓力，由其分子之自由亂雜運動，可以說明。此時若由外界加以大力，足以制勝氣體分子之運動能，則可使其靜止。若無此種外力存在，則氣體在某時間內，可充滿其存在之空間。

在生物界亦有相同之現象。生物質若無阻礙存在，則某時間內，由其「分子」——即各個生物——之任意運動，同樣可擴散至全部空間，而其對於阻礙之反抗力，恰與氣體之壓力相似。

然生物質之中，有一定之特殊性質，與生物質各個體之特殊狀態有關係。就此點而言，可謂生物個體與氣體分子正相類似。生物質所生之壓力，不特與生物個體之運動現象相當，且須在遺傳之特殊影響下成立，由生物適應環境之能力而起，實爲無生界所決不存在之現象。

生物經過相當之年月，漸與環境相適應，以征服自然界對於其繁殖所發生之阻力，繼續努力不懈，終告成功，且有適應環境而變其形態者。

然而氣體與生物質二者之間，實有明顯重要之差別。一定質量之氣體分子，其數亦恆不變，但構成生物質之「分子」即生物個體，其數大有變化；且生物質之「壓力」，對於一定之空間，常保有原狀而不變。此種「壓力」，不受外力（外界之阻礙）所左右，乃生物特有之生殖作用，可以哈爾敦(J. Haldane)名言所謂「非命題乃公理」之義以表之。生物質在一定空間內，可繁殖至一定之限度，其壓力亦隨此限度而增加。此種狀態，與元素放射蛻變時氣態微分子之分解略相類似。

此種性狀雖極重要，然科學界歷來竟有不少之懷疑，故其在科學上之研究，不過僅肇其端，可稱憾事。

然各時代之學者，亦不少遺留此種思想之痕跡。就人類思想之發展情況觀之，對於生命之分布，亦不乏深思遠慮。不過此種思想，尚難以科學形式表之，或可視爲一種感想。但對於自然之見解，即所「自然觀」之原理，各時代之自然科學家，皆有其思想存焉。

人類發見生物在地面上之分布，其來也極緩。歐洲方面，承文藝復興之餘勢，舉行地面上之大探險，至十八世紀末葉，始漸明瞭地球之現形，且漸知生命在地上之分布事實。此種事實，由經驗而來，乃無需證明之公理。欲加說明，殊不可能；苟欲追究之，則成一種新結論，可謂生物質有特殊繁殖之公理現象，由此現象而生必然的結果。現在生物所有之一切作用，雖可斷定其爲生物能之關係，然在此以上，殊不能得更深之理論。

此種支配生物特性之見解，雖尚未明白表示而出，然事實上現在多數生物學者之概念中，亦已包含之。

十七世紀末葉，對於從來所不認見之生物，始由顯微鏡以觀察之。雷汶胡克(Loevenhook)發見此種現象後，當時科學界大受刺激，對於生命之分布，增加新思想不少。

然對於生命之普遍性，更能深徹了解者，乃屬於前世紀以來之事。在深海床發見大量之生物，使生命之質量概念大有增加；一方面微生物之研究日見發達，又使顯微學之舊概念範圍擴大；其所加於舊醫學者及地質學者等經驗學派之知識甚多。

觀察生命之普遍性及其分布狀況，應以十九世紀三大自然科學家之方法爲最良。其發表之報告，乃屬於深海洋及顯微鏡發見生物界以前之事。

此三人發表生命普遍性之思想，雖在同時，但各不相謀；其思想有宇宙實在之基礎，可稱爲生物界思想之母。

且此三人在科學實驗室或教室之外，對於去人類甚遠之大自然界，亦有記述。其中一人爲德國大學學者洪保德(Alexander von Humboldt)，多年居住巴黎；在挨侖堡(C. Ehrenberg)發表顯微鏡生物（非微生物）以後，曾著有自然界景觀(Ansichten der Natur)一書，其第二版中對於顯微鏡生物之分布，記載如次：「人有不能遏抑之好奇心，以探尋自然，或推測生物界之廣泛空間，由此以喚起之各種情緒中，最深刻且最強迫者，爲由普遍分布之豐富生命所得之感覺也……無論何處，映入觀察者目中之物，概爲生物或其幼芽」云。

第二人爲俄國之大自然科學家兼思想家貝爾(Baer, Karl Ernst von)氏，一八三八年，彼以實驗學者兼顯微鏡研究家之身，初與極帶地方 Novaja Jemlja 之自然景接觸，有次述之記載：

「在吾人居住及眺望之地球上，無論何處，凡人所能達到之地點，均有生物存在。吾人今日雖求能達到兩極地方，然據人類達到之最高緯度所得之經驗，實不能見無生命之所謂永遠死國」云。

第三學者爲達爾文（Charles Darwin），幾與上述二人同時（一八三三年），在南美埃爾卡門（El Carmen）鹹湖附近，有日記一段如次：

「然而世界上所有部分，皆適宜於生物之居住，是可斷言無疑。無論在半鹹之湖沼、火山斜面所隱蔽之地下湖、鹽泉、大洋深底、氣圈上層及其他冰天雪地之表面，任何處所，皆可發見生物」。

此種生物之普遍廣大分布，正可以生物圈——卽生命之圈球——一名稱以表之。

查生命之分布，以兩種不同現象爲基礎。（1）第一爲形成生物質之各單位，卽由各個生物之運動而成立，此種自主的運動屬於先天性。（2）第二爲生命更深奧難測之謎，卽生物之生殖、生長及生物質之更新等現象是也。

此等問題，容後詳述，此處僅就生物之「壓力」（卽生殖與運動）對於地球化學所生結果

略論之。

生物由生殖作用，在地球表面形成薄生物層圈。就化學而言，生物層圈乃構成各個獨立單位，且由無數物質不絕行化學交代，依一定規則以混合而成。

其主要物質爲氧素及二氧化碳兩種氣體，以及水、蛋白質、醣類、脂肪等是也。除上述者外，雖有時多含鉅量之蛋白石、碳酸鹽、磷酸鈣等，然此等物質不常有，生物之主成分，實爲有機物所成之部分。而含水之量，則在60～99.8%之間變化。

普通生物質雖僅形成薄層，然充塞於一切水體，以分布於各層海水中。海爲含生物最富之水體，生物在其中之分布雖極不規則，然無論何處均可見之。此種狀態之生物層，事實上可視作連續的地球皮圈。

微生物之極端細微程度，爲物理學或化學方法所生成之微粒子所不能及，故成爲高度分散之狀態，乃其特徵。其對於碳素分散狀態之影響，及對於顯微鏡生物死後分解之化學作用，已如前述。

此種高度分散之現象，不過生物擴張性之一種結果。蓋生物質之生殖、生成，即其增加質量之作用，與其表面積成正比例。此種質量之增加現象，大部分爲氣體之交換，一部分爲液體之交換，而由固體交換者則鮮；又其交換作用，則常由生物表面行之。故增加其表面，即增進其物質之交換作用，亦即增加屈費兒(Cuvier)所謂「稍速旋動」(tourbillons plus on moins rapides)之速度。生物質之一切構造，概由此擴張力而定。無論微生物、超微生物或生物細胞之複雜構造，皆可由此以說明之。

察一定量之物質，其分裂成微小形狀時之總表面積，比其同質量之大集合體更大。生物質分散愈微小，即其表面積愈增大，愈可增進物質之交換作用，可視其爲擴散於全地面上之機能。

細微生物之繁殖甚速，實堪驚人。其由生殖以生新生物時之作用，與構成該生物之複雜化合物有關係。微生物能合成此種化合物，其速度之大，非吾人實驗室或工廠中所見者能相比擬。

生物之迅速繁殖，尤其是微生物之迅速繁殖，在十八世紀未嘗得學者之注意，及十九世紀學者之注意始見集中。林內(C. Linné)對此問題頗有興趣，據其報告謂：一匹蒼蠅急速繁殖，至食盡

馬或獅子之屍體僅餘枯骨爲止，不過二三日之短時期云。然生物學者對於此種問題，無人詳加研究，自林內以來，未見有何成績。

由生物學見地而言，生物之生殖作用，固可使生物學者感覺興趣；而此種作用，一方面又屬於地球化學現象。存在於生物圈內之生物質，受此作用之影響；一切化學元素在生命中之循環，皆受其支配焉。而生物質爲「活性能」所憑依，遂致生殖作用愈見重要。地殼所有地質現象，例如水底堆積，水成岩，或流水、風、冰河等運搬之堆積現象，致地殼上有大量之物質移動，是與生物之繁殖作用相當。

與此等問題有關係之生物學，未有顯著之研究，故地球化學之進步極遲，非爲無因。普通對於此等事實，有時僅記其生殖作用之迅速或強盛，不過多爲科學中之佚話。然而由此亦足以表示大自然界生物繁殖之眞實性質。

生物之繁殖現象，爲生命之根本事實，此種事實上之觀察尚不多，況其與地球化學之重大關係，明明計算之者，更無其人。

生物之生殖作用，由其攝取之養分，即由棲息之媒質中提取化學原子，使化學原子移動，是即表示生命之壓力。此作用對於生物之擴張力，已有精確之計算，今略述數例如次：

十九世紀初葉，挨侖堡研究矽藻之繁殖，曾報告其有迅速驚人之勢力。矽藻爲矽質之生物，往往形成單純之海中浮游生物團，對於矽酸之歷史，其地球化學影響甚大。據云：一個矽藻，在八日間之繁殖，若無外界之阻礙，則可生成與地球等容積之物質塊，在其次之時間內，可達其二倍之容量。又一種普通滴蟲，名爲 paramaecium 者，在五日間生成之原形質，可與地球容積之一萬倍相等云。

至就挨侖堡時代尚未發見之微生物（細菌）而言，其例更大。一個細菌在適當之營養物質中，一日之間，可分裂成數百萬個細菌。蓋最初僅見痕跡之生物質，在短時間內，即可形成其原來之數百萬倍。

據科因(F. Cohn)研究，謂一個細菌在四日半之時間內，可生 10^{36} 個之子孫。其容積與地球之海洋相等，重量亦略相似，或更大。即有複雜化學組成之生物塵（細菌），不過爲一克重之十兆

或百兆分之一(10^{-11}~10^{-10}g.)，僅僅三日間，可生 1.4×10^{17} 公噸以上之同物質。此最後之質量，與同時存在於生物圈內全部生物質之數千倍相當。

上述一切，乃表示生物生成新物質——有地球化學之能——之最大速度。此時，化學元素之移動極大，幾令人不敢置信。然而各個生物所有此種作用，其相差亦甚大。例如霍亂菌不過在四又四分之一日，可遮被地球全面，而印度象則需三千乃至五千年。霍亂菌所有地球化學能之繁殖速度，每秒達 33,000 釐米，與聲在空氣中之速度相似，而象之繁殖速，則不過 10^{-2} 釐米耳。生命經各地質時代而可續存，恐同一種生物有兩種形態所致。縱令爲繁殖緩慢之生物，其在生物圈內，亦呈現強盛之勢力，以與環境對抗。

觀上述數字，則生物所及於地球化學作用之影響如何，可推而知之。此種影響與自然界之事實比較，尚嫌過小，普通尚未達於最高限度。然就本質而言，亦無大差。

但吾人在自然界，亦往往可就全量而認識此等作用。吾人每日接觸此種偉大現象而不自覺。是卽所謂「生命波」，爲古自然科學者所命之名，由哈德孫(W. Hudson)以介紹於近代學界

之現象也。此種現象可視爲生命之爆發。往往數日或數小時之間，能見生物之繁殖，如藻類、昆蟲、蜘蛛、小脊椎動物，及其他種種生物之實例甚多。周圍環境之條件若適宜時，則生物質在短時間內可生成鉅量之蛋白質、脂肪及醣等。例如亞得里亞海之浮游生物，意大利人稱之爲 mare sporco，即爲矽藻之盛大繁殖現象。此現象之進行甚速，故海水中所失之矽素，無回復平衡狀態之餘暇，遂致成爲缺乏矽酸之膠狀塊。此等物質在海面下成爲數米之厚層，發達後經過數日，即沈於海底，形成石花菜之膠狀集團。大洋及沿海岸之浮游生物，有所謂「生命大集團」之現象，較之上述者規模更大。大洋浮游生物所佔之大面積，非海灣或陸地上見者所能比擬。而此種現象在甲地告終時，乙地又繼之而起，其進行在地球上實無間斷。

同樣之現象，在陸地上亦可得而觀察之。如湖、河流、沼池等地所起之「水花」，即屬於此例。種種高等植物，例如水荳、藻類、單細胞生物，及其他種種生物，有時忽然滿布於水面，形成連續之物質層。此現象依一定之週期而起，迅速生成大量之有機物，但立即衰滅，再回復一種新平衡狀態。此時所生有機物之分解尚未告終，已有石炭層或瀝青頁岩或石油之生成初期出現。

此種現象，觀上述數例，已足見其潛能之可驚。

又此種作用對於自然界之經濟，其影響亦甚大。而此生命爆發，常有一定之擴散，且其繼續時間常短，立即回復原來之平衡，故自然界亦猶平常之景況。然此種現象，在地球上多數地點，幾無一瞬不發生。即「生命之巨浪」常存在，顯然表示其機能之特徵。其存在也甚屬合理，恐其與生物質之構造有密切關係，亦未可知也。

然此種現象，幾未引起現世紀學者之注意。惟有自然界之經濟及調和思想流行時，曾集中學者之興趣而已。最後認此現象爲地球上之大現象者，其爲俄國大科學家貝爾氏歟。

四十五　生物質中之碳素量

生物之地球化學作用中，最呈特徵者，爲普遍擴散之現象。此擴散現象之原動力，則爲生物之生殖作用。

此種生殖力之效應，由其生成物質對於一定面積所有之量，可以計算之。

一定空間內所能生存之植物有一定限度。試就耕作地檢查農作物之量而觀之，則此種量之概念，大致可以明瞭。例如英國穀類之最大收穫率每一公頃（hectare）可得三十噸以上之乾燥有機物。然此乃屬例外，普通「條件適宜、耕作優良」之地，據云收穫率不能超過十五公噸以上。

至於熱帶地方，此種植物之量更大，固不待言。就香蕉耕地觀之，每一公頃可得五十公噸之乾燥有機物，且其莖葉尚未加入計算中。

然此等計算，恐尚未達可利用地質之最高限度。例如 manioc（Manihot utilisissima Pohl）植物，除地面上部分不計外，單就其根瘤而言，每一公頃可得二百五十公噸以上之收穫，則其有機物質之生成量甚大可知也。極帶及亞極帶潤溼寒冷之地方，其所生植物，如地衣蘚苔類，及北方溼潤草原等，固不能生成如此大量之生物質，但其收穫率恐較歐洲猶大，亦未可知。

上述數量若換算成碳素量，則每一公頃大約與六、七公噸乃至五六十公噸相當。

此等數字一見雖似甚多，然對於已經研究之部分而言，不過表示其最低限度而已。

但此等碳素，不過爲人類所能利用之部分，蓋在一定時間內，單位面積之生物質中，不能將所

有碳素之全量集中故也。

人類對於地球上之生物質，非全部皆有興趣。例如有用之穀類，其根則不值一顧。故上述數字，尚可增加其三分之一或至二分之一。又地上及地下之動物及微生物，普通雖亦等閑視之，然其全量與人類利用之有機物總量比較，實可以相等，或更有過之。

加之，溫帶農作物之收穫量，與熱帶亞熱帶之沼澤，及亞極帶潤溼草原等所生有機物之全量比較，遠在其下。此外動物界尤其是昆蟲類所集中之碳素，其量亦不少。

生物質集中之多寡，與其環境中之水量成正比例，其體內最少含有60%之水分，容易除去，此乃甚久以前卽知之事實。

生命之繁殖現象，在水圈內達最高限度。形成海中生物質之主要量者，其根源有二種：其一爲海洋表面之顯微鏡生物集團，卽所謂浮游生物羣；他一種爲附着生物，如海洋中某部分表面所生之海藻及海草等海生植物是也。動物質富於氮素，亦多量存在於海中。然其碳素，終由綠色生物，卽幾乎全由植物而來。海生動物由其強盛之新陳代謝機能，盛大之繁殖速度，及互相蠶食等作用，直

接間接利用植物由空氣攝取同化而蓄積之碳素。

水圈中之生物，雖可在平均三千八百米厚度之水層中生存，然陸地上水層之厚，平均不過數米。又海洋面約有陸地面之2.4倍，是則生物所含之碳素，大部分集中於海洋，彰彰明矣。

海洋生物所含之碳素，其分布亦決不一樣。其一種大規模之集中，爲海洋表面之浮游生物，形成五十乃至六十米之厚層，卽爲富於生物質之所謂浮游生物層是也。海底之有機物層，有時亦達顯著之厚度。又海洋中更有二種「生命大集團」之現象：其一爲深海表面之藻海(sargosso sea)大集團，他一種爲陸岸附近之沿岩大集團。

生命在水圈及陸上水體分布之狀況，不僅現世如此，凡一切地質時代皆有其存在。

吾人於此，對於地球化學能之分布，及由此分布而起之化學元素移動，不得不認明永久不變之地殼機構。

研究浮游生物之數量問題，乃四十年前亨森(Hensen)所創，近來其研究法每有改良，每見生物量有增加之傾向。據最近阿倫氏之計算，大西洋之浮游生物，其一升中除去細菌之外，尙含有

464,000 個微細生物云。

北大西洋之浮游植物團中，除浮游動物及浮游微生物之外，每年每一公頃可產十至十五公噸之乾燥有機物。據匹忒森（C. Petersen）研究，謂浮游植物及其餘滓，就最富於生物之層而言，可達水量之 $4.1\times10^{-3}\sim1\times10^{-2}\%$ 云。

若欲以此與陸上耕地之生產比較，則須將水圈生物質之全量換算成單面積之量。由此比較，可知水圈生物質之量，不致比陸上多溼地或陸上水體中所含者甚大。此蓋海中動物甚多，且常時移動不息所致也。

縱令在完全不同，不足比較之地殼層圈中，其單位面積所產之乾燥有機物，無論爲陸地或爲陸上水體或爲海洋，皆無大差。

海洋中充滿生物之地帶，其厚平均達數仟米。但陸地上與此相當之厚度，例如大森林，其最高不過達百米。普通不出數十米或幾分之一米耳。

陸上綠色植物之生產量與海中綠色植物及動物之生產量比較，若就單位面積而言，兩者略

相等，已如上述。考其理由，恐終爲太陽能之生產物，依受副射線之面積爲轉移，而此面積，海陸或正相等也。

此問題在理論方面，甚爲有趣，對於地球之地球化學經濟，甚有密切關係。然吾人現今所有之知識，不過僅得此問題之皮毛而已。

貞森(P. Boyessen Jensen)氏曾就丹麥屬海之海底，觀察其着生動物。據云每年生產之有機物，每平方米約達42.1～77.1克。而貞氏之研究，僅限於着生動物，至於浮游生物、微生物、移動性動物等，則完全除外。此種着生動物，以大葉藻及其餘滓爲食料而生活。大葉藻每年每一公頃可生產十二公噸之乾燥有機物，然因該動物常食之，故幾無達成熟期之餘暇。

生物質之全量，不能正確計算，故碳素量亦難得正確之概念，殊屬憾事。故就生物質量之多寡而言，不過僅得其大概略數而已。利用此等概略數字，試推論之，漸達正確之概念，故最後對於地球上一大自然現象，卽生物質之繁殖作用，或可用數量之決定之。

與生物有關係之碳素量，有一定限制，應比存在於地殼中之碳素總量小，不言而明，如前所述，

地殼中之碳素總量，假定與地殼全量之 0.5% 相當，則應在 1×10^{17} 公噸以下，但事實上恐較此更小，大略在 8×10^{16} 公噸左右。

生物質之總量，不能超出地殼全物質之 0.1%，即與 2×10^{16} 公噸相當。事實上比此更小，每一公頃若平均產一百公噸之乾燥有機物，則對於生物圈全體，應爲 5.1×10^{12} 公噸。故若將動物、微生物、土壤中及水底泥土之有機物等皆加入計算，則生物質之總量可達 $n\times10^{13}$ 公噸，最大限度，或可達 $n\times10^{14}$ 公噸。而生物質所含碳素之平均量，多未超過 7%。試就水中生物量之最低值觀察，可得更低之碳素總量。故上述數字，若加入此種考慮，則生物質中之碳素量，最大限度可達 $n\times10^{13}$ 公噸，但恐終難達到此數值。故此部分之碳素量，約與地殼全體碳素量千分之一相當。

然事實上此碳素之量，甚屬重要。生物質呈顯原子之平衡狀態，原子在生物質中活潑移動，一部分碳素原子脫離生物質時，同時又由同原子與之交換。生物之地球化學力甚爲強大，尚遠大於與地殼碳素百分比相當之能。

在短時間內，例如在一年中，生物使碳素移動之量，幾與全地球中碳素之總量略相等。

矽素及氧素之歷史，亦有此等事實，前已述之。惟此處所宜注意者，碳素原子，非可通過於一切生物質。其一部分乃永久留存於生物質內，若有某種原因，使其非脫離生物不可，然立刻又復歸於生物質中。經過長年累月，尤其是數百萬年之久，仍不歸還於生物體之碳素，不過一小部分而已。如石油、煤、碳酸岩及其他若干種碳素物，即其例也。

某學者用他種方法，計算地球上生物質之量，得結果甚小。然其相差亦不甚大。生物質量之最低限度，當以 $n \times 10^{11}$ 公噸爲可信，或可爲 $n \times 10^{10}$ 公噸。

四十六　生物質量爲一定不變之常數

精確計算生物質中碳素之量，其對於地球化學之影響如何，姑置不論，然其本身亦甚重要。生物質之量或其組成有顯著變化時，其生存媒質中之無機成分，亦顯然受其影響。

試檢察地質史而觀之，在普通不甚注意之現象中，可見有甚重要之事實存在。即地質時代雖有變更，而地殼之化學狀態永久不變是也。

各地質時代生成之礦物常相同，其事實明顯，無待多述。自原始代以來，無論何時何地，常生成同一樣之礦物，而此等礦物之集合亦相同。且其集合之量，亦常有相同之比率。

由此事實，可得一結論，即地球化學現象，自原始代以來，實無顯著之變化。

更進一步論之，事實上生物質之平均成分，雖經過各地質時代，然大概保持相同比率而不變。不然，則由生物對於元素之地球化學史佔重要地位一點觀之，無論礦物或礦物之共生集合，皆不能保持一定比率而不變矣。

故生物質之量，自原始代以來，可認爲地球之一種常數，永久不變。

此常數偶然稍微變化，亦爲不可免之事實。蓋因其爲循環組合，且爲吾人就平衡狀態而觀察之可逆現象。其形式與大氣之平均組成或海水之平均組成等常數相似。

誠如是，則生物學方面幾忘其有重要歷史之思想，地球化學方面再現而成新形式，豈不趣耶？

此種思想再生之理由，蓋因生物質量爲一定不變之常數，此不僅在地球化學上甚爲重要，即在生物學上，亦佔重要之地位故也。

生物學方面，最初確論地球上「生命」之量一問題者，爲布封氏。彼認爲此量一定不變，謂生物由「生物分子」之微粒以構成，與無生物相異。而此生物分子既不死亡，又不變化，生物體死後，移於其他生物，永久在輪迴中生活云。此種偉大觀念，與印度古代思想有相當關係。其觀念之根源甚爲複雜，且未充分明瞭。然明明爲古代思想之復興，則無容疑。上迴十七世紀，更察文明復興時代之科學的哲學，可發見其痕跡。且在亞細亞方面之古代思想，亦可隱約見其萌芽。

由布封之思想所推定者，卽生物中所含物質之量，與生物分子之一定不變質量相當，故亦一定不變。

然布封之思想，決非完全置諸腦後，不過在科學思想進展中，未考慮之而已。

十九世紀之科學家及哲學家，如俄肯、斯尼亞得基、夫洛倫、多貝爾、阿伽西、哈特曼、布蘭特（L. Oken; T. Sniadecki; P. Flourens; C. de Baer; L. Agassiz; E. von Hartmann; A. Brandt）等，所有思想，在新形式下，亦包含此種觀念。最後對此觀念深加研究者，爲德國生理學家普來厄（W. Preyer），彼曾努力欲使其進入科學，然未告成功。自前世紀末以來，一般學者皆認生

物質之量一定不變，惟有多貝爾一人曾謂其與時俱增耳。

此種大半已忘之學說，至現時更引起新興趣。由定量法以研究生物現象，愈見此說之重要，而純粹定性的及形態的專門研究精神，遂至完全變更。故古代之思想，可謂至現在始得地利與時效。

蓋生物質之量一定不變，乃由經驗而得之事實，爲一切地球化學事實之必然結果。

四十七　生物質之化學成分

上述現象，更可發生他種結果。卽生物不僅質量不變，其平均化學成分，無論就歷史時代或化學時代而言，大略皆相同。由地球化學觀之，上述肯定結果，比生命量一定不變之性質，更爲確實。蓋生物質之變化，概由其組成，或生新礦物，或增減其量以表示之故也。

然觀各地質時代生成之礦物皆相同；故縱令其量有變化，亦不過以平均量爲中心而略呈動搖狀態已耳。例如煤之豐富生成時期，綜合各地質時代觀之，可見其有數次。同樣之事實，卽就無關生命之礦物，亦可得見之。蓋地質時代曾起數次大冰期，而冰量之增減，則呈週期變化。試就金、氧化

錫及其他礦物考之，亦可見同樣實例。

各種礦物之量，經各地質時代而起週期變化之原因，與生物現象方面之原因似不同。卽其原因乃在地球深部之作用力，如強黏性岩漿之週期變動，及與此變動有關連之造山現象與放射能等，地殼之物理學及地理學狀態之週期變化，實爲其基礎。

生物質之量及化學組成，應有如上述之週期變化，其原因如何，亦非究明不可。

然生物之組成及量之週期變動，現在尙難認識之。究竟生物質之平均組成及平均常量如何，吾人尙缺充分之知識，若不由此種正確知識，則不能認定此種週期變動。

現在第一當注意者，生物生成時，其有關係之種種化合物及礦物，亙一切地質時代，而常有同一之化學結構是也。

此種事實，不特使生物質之化學組成一定不變，且經過極長遠之地質時代而幾無變化之生物質，含有特殊之化學結構，可得而認識之。

由此方面推論所得之地球化學結果，與生物學及古生物學之知識，有對立之關係。

吾人對於宇宙現象所有之概念，受生物界之影響實大，即由生物有規則之進化觀念所支配。生物之進化，即其形態之變化，與化學變化有明顯之關係。物體之物理性，可由其內部分子構造而表現；同樣，生物體之形態，亦可反映其分子內部結構。各地質時代生物所起形態之進化，及其物質之平均化學組成不變二現象，皆由經驗以確定之；此二者對立之關係如何，有說明之必要。

察形態變化時，必有化學變化隨之發生，就全體而言，在不變之範圍內，非在不均勻之生物質中進行不可。生物全體之總組成，經各地質時代而常保一定，其各個新種之化學變化，由其同時存在之均勻生物質之變化以補償之。

若上述推定果與事實一致，則就生物質全體考慮時，其化學組成，雖經生物之進化過程，亦應常保一定狀態而不變。

然此種科學上之重要問題，此處不能詳述。故所謂生物質之平均組成，經各地質時代而不變之結論，僅與外觀上生物形態之進化說相對立，不過知其必然如此而已。

吾人現在對於生物質之化學組成，不過僅知其大概，甚不充分。試讀下文，即可知之。

即生物之化學分析，決不如現在礦物或岩石之分析精確，亦未得可信之近似值，且一種生物之完全分析法，亦尚未成功。地球化學者對於次述兩種科學，皆非努力研究不可。其一爲無機物即原料物質，他一種則爲生物，而兩者所有科學的材料，其精確度大不相同。由此結果，僅以不完全且不充分之多數見聞，而衍生科學的結論，其爲不得已之事實可知。

一部分生物或與生物全體有關係之分析實驗，雖有數千，然既不充分，價值又各異，且其乾燥溫度最高亦僅達攝氏一百二十五度。即就生物主成分之水與其含水量而言，亦不過由間接測定法以知之。在攝氏百度發生之揮發物及氣體，一般皆未加顧慮，未列入記錄中。動植物之灰分分析表，雖有數千百，然以其灰量與有機物之灰量相比較者，則無其人。普通對於生物之平均重量，甚鮮研究，而其數量對於一切地球化學的推論，則有絕對之必要。

此等分析之目的，原不在地球化學，乃欲解決畜產、醫學、農業，或生物學之興趣等而行之者也。至於生物化學組成之專門研究，須由過去一世紀各方面之多數材料中，查出地球化學之論證而後見之。此種檢查方法，爲目前地球化學之應急策，亦不已也。

如上所述，吾人現在之知識，欲以數量而推定生物質之平均化學成分，完全不可能。但就生物質之若干元素而言，欲決定其大概數量之位次，亦非不可能。

第十二表，即以每十位數爲單位表示此種計算。其大略近似集中之元素，則記入各集團中。

第十二表　生物質所含化學元素之平均量

集團階段	重量百分比	元素
I.	$>10^1$	O, H.
II.	$10^0 \sim 10^1$	C, N, Ca.
III.	$10^{-1} \sim 10^0$	S, P, Si, K.
IV.	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	Mg, Fe, Na, Cl, Al, Zn.
V.	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	Cu, Br, I, Mn.
VI.	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	Ar, B, F, Pb, Ti, V.
VII.	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	Ag.
VIII.	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	Au.

上表所列數字甚不完全，須保留日後改良之餘地。又如金銀等元素，不必存在於一切生物質內。

此表雖不甚完全，然可得生物質化學活動之概念，而與生物之生存環境比較。惟所感困難，則在生物圈之平均成分，尚未明瞭。吾人所確知者惟有岩石圈之平均成分，此與生物圈之成分完全不同，如前述水成岩中平均含有1~2%之碳素，然生物圈所屬之土壤中，則比此更多。岩石圈之平均成分，與花崗岩狀之火成岩相近似；與生物存在之媒質中之成分不同。

如是，則生物圈之組成雖不能決定，然其平均組成與岩石圈相比數，則與生物質之組成甚近。就海產生物而言，其組成與媒質成分之比較，可達相當精確之程度。

水圈之平均成分，以吾人現在所有之知識，可表之如次：

第十三表　水圈之平均成分

集團階段	百分比	元素
I	10^4	O, H.

II	10^{0}	Cl, Na.
III	10^{-1}	Mg.
IV	10^{-2}	S, Ca, K.
V	10^{-3}	C, Br, N.
VI	10^{-4}	Si, Rb, Fe.
VII	10^{-5}	P, F, I, B, Ar. Cu, Ag, U.
VIII	10^{-6}	Li, Th, As.
XI	10^{-7}	Zn.
XIV	10^{-12}	Ra.

以此表與第十二表比較，已可見生物質之化學活動，有重要之關係存焉。

察海洋之水，就化學上言，爲不均勻之物質，含有大略一定之鹽類。生物有時大量集中，而浮游於其表面，有時成分散狀態，以生活於其內。

此種特殊狀態之集中生物質量，有時可達局部全水量百分之幾。而其組成與海水迥異，不言

而明。

海產生物質之成分，明明爲海水成分之函數。然其爲函數也甚形複雜，其現象決不簡單。在此兩者間發見之類似點，不過僅屬於外貌之觀察。其最有名者，爲海水中之鹽與脊椎動物之漿液互相類似一點。若假定陸上脊椎動物由海產動物進化而來，則此等動物之漿液（例如血液），與海水中鹽類之成分應相同。因事實上此兩種鹽大有差別，故又假定陸上哺乳類祖先生存之古代海水，其成分與現今不同，以說明此種矛盾之解釋。但此假說實與地球化學之確定知識相衝突（參考地殼上之水），故兩種漿液之類似及差別，另有其他原因在焉。

就生物質全體考察（第十二表），其成分與海水之成分大異。

分散於海水中之生物質，常與海水起交換作用而不息，常出其原子與海水，又由他處以攝取之。由此可見各個原子起有規則之集中現象，比較十二表及十三表，即可知此事實。

然在未比較之先，應知海水鹽類之成分中，生物質不過僅攝取其一部分。生物或直接由大氣中吸收碳素及氮素，或由溶解於水之氣體中以吸取之。如是，則海產生物，恰如使海水增加碳素及

氮素量之機關。

比較上述兩表之結果，可知生物質能使次列諸元素集中於海水（第十四表）。

第十四表　海水中由生物集中之元素

F, B, K, S.	$n \times 10^1$ 倍
I, Fe.	$n \times 10^2$ 倍
As, Si, P.	$n \times 10^3$ 倍
Cu, Ca.	$n \times 10^4$ 倍
Zn.	$n \times 10^5$ 倍

觀此表，可知海產生物有集中鈉、氯、鎂等元素之作用。

就此等全部考察之，則海洋中不均勻之生物質，可視作特殊機構，能使海洋之化學狀態完全改變。

生物質不僅支配海洋之化學狀態，且海洋底泥土亦受其影響，使海洋底生成表成礦物；由此

關係，使含有如此生成之礦物之水成岩，亦受其影響。此種影響更及於變成帶，卽由生物質而來之表成礦物，更變爲變成礦物。如石油之生成，卽屬於此例。

海洋化學所受生物質之影響，觀上述理由，可以明瞭。惟其平均成分過於概略，故難得更充分之推論，殊屬憾事。

四十八　生物質爲化學元素之集中物

各種單族動植物與均勻之生物質相當，其化學組成與不均勻生物質（卽各種族之混合物）之平均組成根本不同。

此種特殊均勻生物質之集中——與生物質全體之組成不同——，不僅地球化學甚爲重要，且對於特殊元素之地球化學史，亦生極重要之結果。

若以一定元素之集中爲特徵，則生物質亦可由此以行分類，此時有二種顯著之差別卽（1）化學元素之集中達生物質之10%以上（與第十二表第I階段相當之集中度）；（2）化學元

素量在1%以上10%以下（與同表第II段之集中度相當）。

依吾人現有之知識，此等化學元素可分爲二系如次：

I. 與生物質10%以上相當之元素：

A. 存在於一切生物中者……O, H.

B. 僅存在於某種生物中者……C, Ca, Al, Fe, Si, Mg, Ba, S, Sr, P, Mn.

II. 與生物質1~10%相當之元素：

A. 存在於一切生物中者……O, H.

B. 僅存在於某種生物中者……C, N, Ca, Si, Al, Fe, Mn, Mg, K, Na, Cl, Zn, P, Br, I, Cu, V.

蓋集中於生物質之元素，全部有十七乃至十九種。

如此集中特殊元素之生物，決非稀有，其存在之量甚多，且生成多量之有機質；其所富有之元素，與自然界之經濟大有關係，故上述集中現象實甚重要。就鐵菌及錳菌而言，已在錳之地球化學

史項下述之；藻類及海綿與碘素之關係，可參觀碘之歷史一項；至於矽藻及放散蟲對於矽素之關係，則在矽素之地球化學史中已有所記述。

由此種集中特殊元素之生物爲媒介，卽可調節有關係元素之地殼化學現象。此事決非偶然，由其作用，凡具有上述特殊成分之生物質，實爲地殼化學機構之一種要素。生物之化學問題尙鮮研究，其有待於今後之發見者甚多。例如含鋰之生物，及富於銀、磷、鎂或鋅等之生物，最近始發見之。

察地殼之礦物成分與生物質有密切關係，其經過各地質時代，能保持一定不變之比率；同樣，集中特殊元素之生物，縱令其形態有變化，然各地質時代皆有其存在，可推而知之。此種生物，縱令進化成爲新種屬，而其特殊機能仍不變。又一種生物絕滅時，他種生物可以同一機能而代之：如一種矽質生物可與他一種矽質生物交換，卽其例也。

生物質之影響，不僅對於其已集中之元素歷史有重要關係，且由其機能——例如生命產物之游離氧素歷史中所見之機能——作用，就大部分化學元素觀之，亦可見其甚爲重要。

要之，生物之重要，就一切循環元素及大部分分散元素，兩者合計四十八種之元素而言，已確

實認識之。恐其對於稀土族元素，亦有同樣重要之功用。故地殼之化學元素，恐有99%，皆受生物質所支配。

四十九　生物質所有唯一碳素之根源——二氧化碳

一切生物，皆由大氣中之二氧化碳（俗稱碳酸氣）或溶解於水之二氧化碳而來。蓋此二氧化碳氣，爲生物必要碳素之唯一根源故也。

且地殼上所有其他碳素之根源及大部分之二氧化碳，其成因亦與生物質有關係。

凡火山氣、泥火山氣、溫泉及與地殼構造運動有關係之氣體等，含有甲烷及一氧化碳，其一部分之成因，則與生物無關。然此量甚小，假設有某微生物使之分解，能形成其必要之碳素化合物；然此等微生物與由二氧化碳而吸收碳素之大量生物比較，其相去實不可以道里計。

此等事實，至前世紀初年始漸明瞭。綠色植物之營養，及其形成生物體之問題，空氣甚關重要，自十八世紀末，拉瓦節、普利斯特利、卡汾狄士、塞內比爾（J. Senebier）因根毫斯（J. Ingen

Houss）等研究大氣以來，早已知之。就中最初闡明二氧化碳之機能者，實爲因根毫斯。

在十八世紀末葉以前，亦早有人知碳酸氣之作用。十七世紀闡明葉之營養器官；一七二三年，赫爾（S. Hale）根據此種發見，知氣體中有植物生活上必要之物質存在；其次，一七六六年，馬克布立吉（D. Mackbridge）指明此必要物質爲碳酸氣。

然生物所有碳素之根源，由大氣中之二氧化碳而來，確定認識之者，實爲十八世紀至十九世紀初期（一七九七至一八〇四年）之成績，應歸功於日內瓦人索修爾氏。

然索修爾猶抱多少疑念，未能全體解決，不過僅認識二氧化碳爲生物所需碳素之主要根源而已。

其後二十年至三十年之間，俄國物理學者帕羅特（G. Parrot）及法國植物學者布隆尼阿爾（A. Brong.iart）始認識生物質所需碳素之唯一根源，實爲大氣中之二氧化碳。

科學上確定此種事實者，乃布西略研究之功一八三〇至一八四〇年，其間實有百年或八十年之犧牲。自此以來，如利用甲烷及一氧化碳，而不吸收二氧化碳之微生物存在，及水產生物之複

雜化學反應等，對於二氧化碳爲生物質之唯一碳素根源一說，不過僅有少數訂正而已。

就水產生物而言，一八三三年由拉斯派爾(F. Raspail)研究，主張除空氣中及水中溶解之二氧化碳而外，對於酸性碳酸鹽之碳酸，亦有利用之可能性云。

存在於空氣中及水中之二氧化碳，其被陸生植物所利用之總量，約達 10^{14}~10^{15} 公噸。

二氧化碳與水，俱爲地殼上甚重要之物質。亨得孫(L. Henderson)氏之言曰：「水與二氧化碳，由人目不得見之宇宙進化力，放置於吾人之地球表面，生物得之而繁榮，固不待言，卽周圍環境亦因之而呈穩定狀態，因欲使其複雜性永久繼續，故其所呈效力極大」。在地球化學構造中，最有特徵之二氧化碳，亨氏之言，已可將其機能之概念表示而出。二氧化碳與水之特性，非其他物質所能比擬，保有唯一之位置，且其對於生物之適宜性，二者不相上下。若無二氧化碳則無生物；生物之利用二氧化碳，先由具葉綠素之植物攝取之。

在吾人周圍之自然界中，生物質與二氧化碳有直接而且密切之複雜關係。生物之全部構造，正適宜於攝取及利用二氧化碳。

由氣態媒質取二氧化碳而同化之，以製成碳素化合物，此種能力，即屬於生物，須依種種條件而定，又生物之種類若不同，則其發達亦相異。此種能力，與各個生物之環境營養條件有密切關係，又視其性之陰陽——好日光與好日陰之差——而各有不同。又葉綠素之構造或有差異，故視植物之屬及種而不一樣。蓋植物之同化機能，依日照量、氣溫及環境中之二氧化碳量等，而有變化。

就綠色植物全體考察之，其同化精製之二氧化碳量，比對流圈內所含之二氧化碳量更多，其事至明。

生物所利用之二氧化碳量，約需空氣中之 1×10^{-1}% （重量），或在此以上。至就對流圈中所有二氧化碳之平均量而言，不過在 3×10^{-3}% （重量）上下。故綠色生物，可得精製之二氧化碳，與存在於空氣中者之五倍乃至十倍相當。故地球上任何處所，惟有綠色生物集中之二氧化碳量最大，非其他物質所能比擬。然事實上，綠色生物僅能適合於少量二氧化碳之調節作用甚多。同化二氧化碳，使其變成生命上重要物質之潛能力，比生物圈內實在之能力更大。

現在之草原森林，足以表示生物與二氧化碳更有密切關係。尤其是陸上綠色植物之形成其

個體，換言之，一般生物圈內欲形成生物質，第一須先有生物化學根源，即須先有生物生成之二氧化碳存在。

十八世紀末葉，蘇修爾謂綠色陸生植物所必要之二氧化碳，除大氣以外，土壤中亦可發生之。據近來研究之結果，此種二氧化碳爲量甚多，遠在昔日學者之想像以上。倫得哥德（H. Lundegard）根據自己及其他學者之研究，得肯定之結論如次。即綠色植物所攝取消費之二氧化碳量，以「土壤呼吸」所發生者爲主，對流圈之二氧化碳，不過僅能調節綠色植物之同化作用，猶如二氧化碳之貯藏庫，不足時向之攝取補充而已。所謂「土壤呼吸」，爲一種生物化學作用，與細菌、動物菌類等放出二氧化碳之作用有關係。蓋集中於土壤中五至十五釐米地帶，形成薄層而生活之多數小生物，其所起交換氣體之作用——即所謂呼吸作用因而放出二氧化碳——，與上述生物之繁殖有密切關係。

如此厚度不過十釐米之層，對於陸上生物亦有令人驚嘆之意義存焉。

水圈中生物之狀態，同樣有多數未解決之問題，然此等問題與上述者迥異。水圈之綠色生物

質，大部分密集而生存，其所需之二氧化碳，完全仰給於對流氣圈。即其所需之二氧化碳，完全由空氣而來，故此時對流圈不過僅爲碳酸同化作用之調節機能而已。

所宜注意者，海洋中之碳酸經濟問題，尚多未明瞭。在最近之將來，此方面之多數正當解說或將出現亦未可知。據研究海洋盆地之結果，其接近深底部分之水中，含有相當多量之二氧化碳。此種事實，大部分由細菌之活動而來，已無容疑。故就海洋之綠色生物而言，除攝取大氣中之二氧化碳外，亦仰給深層之補充，亦未可知也。

五十　大氣中二氧化碳之力學平衡

對流氣圈中之二氧化碳量，常有多少變化，而其變化之量，比大氣中任何氣體均大。然其變動，又不如大氣中水變動之甚，在陸生植物甚多之地域，其含量一般均高，普通達百分之數十，有時竟達百分之百。

離地面甚遠之上層空氣中，此種變動比較少，其含量亦比較小。此時，大氣中所含二氧化碳量

之平均值，與水分同樣，亦一定不變。

對流氣圈中所含二氧化碳之總量，大約有 2.2×10^{12} 公噸。海水中所含者更多，可達 1.84×10^{14} 公噸，其一部分溶解於水中，一部分成酸性碳酸鹽而存在。據徐累辛（T. Schloesing）主張，謂海洋水爲生物圈中強有力之碳酸調節器云。大氣中碳酸氣之壓力低時，海水放出此氣以補充之；其壓力高時，則吸收之。

一八七八年徐累辛氏之發見，對於地球化學甚爲重要，其結論在發見後之第三年，始由實驗以證明。此種觀察，在地質學上亦甚重要；蓋海陸面積之比例，隨地質時代之變遷而有顯著之變化，故大氣中及海水中之二氧化碳，亦隨此比例而起週期變化之現象。惟地質學方面尚鮮此種研究。

海水中之二氧化碳，對於生物常有必要，且常含有適當之分量。海水微呈弱鹼性，其氫離子（H^+）之濃度，不足以中和之，使水成爲中性。此氫離子之不足現象，對於生物有重要之意義存焉。吾人對於水中離子之狀態，研究愈進步，其影響愈明瞭。

海水中所起離子化作用(ionisation)(或稱游離作用,或稱離化作用),即水中所含氫離子數之調節作用,據亨得孫主張,謂其有一定規則,恰與天體運動相似,吾人現在實驗室中所研究者,尚未達完成之域云。

海洋爲最大之碳酸調節器,固不待言。然大氣中二氧化碳之分布,實受地上二種現象之影響。其一爲大陸上之水體,他一種則爲生物質之集團。生物質之總量,比海洋之10^{-2}%尚少(約爲七十分之一),但其活動決不可等閑視之。二氧化碳在生命之循環中,有時其所生影響,比海水中所含之二氧化碳大至數倍。

自然界中有此種調節器存在,則生物對於其環境,可常保樂觀地位,對於其繁殖所生成之生物質,亦有相當限制。

誠如是,則地殼有一種強力,比生物之地球化學能更大。此力與大氣中之二氧化碳氣有關係,可以調節生物之勢力。其力存在於海水及陸上水體中,隨二氧化碳之蒸氣壓力,而形成酸性碳酸之水溶液。生物吸收過剩之二氧化碳,而異常發達時,此力不容許生物更吸取大氣中或水中之二

氧化碳。一切皆在平衡狀態中，生物之質量，及成爲吸收二氧化碳之函數之增殖量，皆有限度，蓋天然現象中有此種限制力，實不弱於生物之繁殖力故也。然海水無純化學的作用，海洋自生亦含有生命，故水產生物與酸性碳酸溶液之化學性及水中之氣態二氧化碳，皆與陸上綠色植物之限制問題有關係。

上述現象甚形複雜，現在尚難窺其全豹。陸上綠色植物全量之調節，現在僅認識海洋所及於氣圈中二氧化碳之影響。即陸上植物所消費之二氧化碳，大部分由「土壤呼吸」供給，即仰無葉綠素之生物所供給也。

如是，則生命取綠色生物之姿態，而出現於大陸上，常欲遠避海洋所發生壓迫勢力之狀。

但海洋自身亦非普通之水溶液，有生命充乎其中。故海洋動物所含生物質之量，酸性碳酸鹽之化學性，海洋中之碳酸量，以至於土壤之生物化學的呼吸，與陸上綠色植物之繁殖等，其間之關係如何，今日雖未十分明瞭，然必成爲極複雜之平衡現象無疑也。

尤其是對流氣圈中之二氧化碳量，可依複雜之力學平衡而決定。

概括上述諸項而言，二氧化碳放出於大氣中之方法，可分爲三種：（1）由火成岩——包含火山現象、溫泉、天然煤氣及二氧化碳——之風化而放出，是爲初成或變成二氧化碳；（2）與大氣中二氧化碳之汽壓力有關係，由海洋水、河流湖水等發生，是爲表成二氧化碳及一部分有生物根源之二氧化碳；（3）由動植物生存時之呼吸，死後之分解所起化學作用、生物化學作用，以及土壤、煤等而發生，是爲生物根源之二氧化碳。

人類之工業活動，例如由煙筒、爐窰等之發散，石灰岩之煅燒，及釀造等所發生之二氧化碳，亦與生命有關係。此事實對於碳素之歷史可生重要而且特殊之影響，由人生所生成之二氧化碳量，有逐漸增大之傾向，其量在地球化學上實不可忽視。

例如據克羅（A. Krogh）氏計算，一九〇四年全年燃燒煤之結果，祇發生7×10^8公噸之二氧化碳，但一九一九年克拉克之計算，竟達1×10^9公噸，已有現在大氣中二氧化碳之0.05%；其增加之程度，對於地球化學之研究亦居重要地位。

文明人類，爲自然平衡之攪亂器。具有新「地質學的勢力」，對於一切元素之地球化學史，其

影響有愈見擴大之傾向。此種現象，亦爲自然界重要現象之一，故本書特專立一項以論之（第五十七節）。

此外，二氧化碳尙有別種完全不同之根源存在，似不可不略述之。此卽所謂宇宙之根源，然其性質如何？重量有幾？均未之知也。考碳素在行星系空間，有重要之功用，觀隕星及彗星可知之。含碳素之隕星燃燒時，或彗星出現時，皆爲宇宙間發生二氧化碳之根源，其事不言而明。

地球上之二氧化碳，在任何轉瞬之間，亦必呈力學的平衡狀態。如是侵入氣圈之二氧化碳氣，決非靜止不動，常向四周之介質逃散而去。其主要之量，在地面生物圈內生成可溶性碳酸鹽，且含有原與矽酸結合之金屬、鹼金屬及鹼土金屬等之氧化物。矽酸鹽及鋁矽酸鹽，如前所述，在地面風化而生膠狀矽酸，結晶性矽酸及高嶺黏土等。此時與二氧化矽及鋁矽酸酐相交換之二氧化碳量甚大。一部分二氧化碳成爲碳酸及酸性碳酸離子，卽 CO_3'' 與 HCO_3' 二種離子，溶存於水，然水中，又常被河流搬運以入於海。此種溶解之量，每年合計，約與 1×10^9 公噸之二氧化碳相當。然此不過爲矽酸及鋁矽酸礦等風化時由大氣攝取碳酸量之一部分，其全量每年超過 5×10^9 公噸，似

比 1×10^{10} 公噸更大。

被生物質所攝取，以存於其體內之碳素量，似不亞於上述之碳酸。察生物質構成中所需要之碳素，實由空氣中之二氧化碳而來，即其前身應爲二氧化碳氣也明甚。由其所含之碳素量推算，現在生物體內保存之二氧化碳量，大約爲 12×10^{13} 公噸，實比空氣中所含者（$2.2\sim2.4\times10^{12}$ 公噸）甚大。

普通對於生物質所使用之二氧化碳量，估計皆過低；例如阿勒紐斯之計算，謂每年綠色生物所吸收之二氧化碳量，未超過大氣中所含者五十分之一云。

阿氏之推算，乃以利比喜之研究爲根據。利比喜計算中歐土壤之收穫率，每年每一公頃有 2.5 公噸之乾燥有機物。阿氏即視此值爲全陸地面上之平均數，遂計算植物每年所需要之二氧化碳爲 1.3×10^{10} 公噸云。

此種估計與事實不一致，已如前述（第四十五節），實可視爲最低之數值。

著者對於阿氏之估計，非欲加以批評，不過僅就其數值之數位而言耳。事實上此種計算之數

位，非如阿勒紐斯所想像者也。

僅就任意之瞬間而言，生物質所保留之二氧化碳量，決不比大氣中所含者少；反之，至少可達十位以上之大數量。

生物質常失其碳素，其大部分由生活作用而成爲生物源之二氧化碳。生物欲維持其構成物質之平衡，每年由大氣吸收之二氧化碳，比生物中含有碳素之量更大。故計算生物質之碳素量時，若不發生誤差，則大氣中之二氧化碳，每年中必通過生物質若干次無疑。

二氧化碳氣之進入生物質中，必由特殊之機構；此機構即爲綠色植物，先吸收二氧化碳，破壞其分子，使其碳素轉變爲醣類或其他有機化合物（參考第四十八節）。事實上同化大量二氧化碳之生物，非吾人周圍所見之陸上植物，乃海洋之浮游生物，即人目所難認見之單細胞藻類是也。此類海洋表面之綠色生物，其色不如陸上植物之明顯，其主要機能之綠色體，人目雖難認識，然就此種「生命集團」之全體而言，地球化學實受其支配。即二氧化碳之放散及吸收，乃由此種下等植物之「生命集團」所支持者也。

此外吸收大氣中之二氧化碳，又放出之者，以海洋及陸上水體爲主要原因。其對於大氣中所含二氧化碳之調節作用，已如上述。

此等水體必調節大氣中之二氧化碳量，兩者之間，常保持平衡狀態。若平衡狀態破壞時，即刻可見其反映於水之全體化學性。

而海洋水之化學作用，可視作永久不變，經過一切地質時代，常生成同樣之反應及同樣之礦物，與現在一致。同樣，「生命集團」之現象，亦常繼續存在於海洋中。

試觀海底水成岩之化學成分及其性狀，經過各地質時代常相同，即可表示大氣中之二氧化碳量；從來無急速遽烈之大變化。雖其間不無多少動搖，然其平均量保持一定，與現在相同。

二氧化碳氣之力學平衡，經過一切地質時代而常保一定，就過去之地質時代而言，此氣依一定方向而變化，決未發見有何增減之景象。

大氣中所含之二氧化碳量，雖似有多少動搖，然在地質上毫無明顯差異之證據。阿勒紐斯以二氧化碳能保留太陽熱之見解爲根據，謂地質時代之冰期（第四紀），即證明二氧化碳量有變

化云。然大冰期之現象極複雜，不能僅由大氣中二氧化碳之增減而說明之。

假若承認此種長年累月之動搖或地質時代之動搖爲眞，則現在大氣中二氧化碳量，仍呈不固定之狀態，可以想像。阿氏發表之研究報告，首述現在之二氧化碳有漸漸增加之傾向，其所根據之理由，爲地質時代所無之文明人類之活動。此種結論，甚屬重要，已如前述，然而人類之活動，究竟得何結果，現在無從知之。又人類不僅對於二氧化碳之放出有關係，且對於其吸收亦有影響，例如農業所增加之綠色生物量，似應發生影響，不可不加以考慮。

要之，生物質對於大氣中所含之二氧化碳量有極密切之關係，已無疑問。大氣中之二氧化碳量增加，生物質量亦隨之而增加；其量若減少，則生物質量亦隨之減少。卽大氣中之二氧化碳量與生物質量之間，常保持力學平衡之狀態。

五十一　生命循環

生物質與二氧化碳之力學平衡，稱爲「生命循環」(cycle vital; lebenszyklus)。此種現

象，在碳素之地球化學史上，甚爲重要。

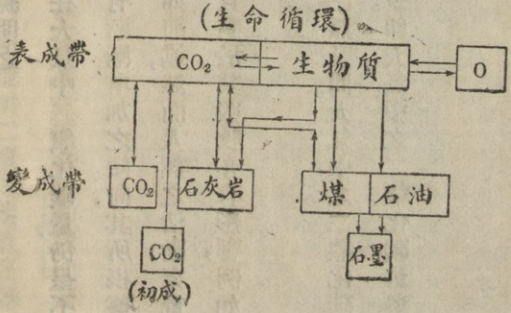
生命循環之最明顯特徵，爲其非完全可逆一點。即生物質所吸收之二氧化碳，僅僅歸還其一部分於其周圍之環境。即其一部分雖繼續起循環作用，他一部分則變成生物根源之碳素礦物。此礦物所含之碳素，與碳酸之循環脫離時期極長，往往非經極長久之年月，不再歸於循環系中。

生物根源之礦物羣，爲碳酸鈣、煤、石油及瀝青等。其他生物根源之碳素礦物，或各由上列各礦轉變而來；縱或不然，而其產量則極少，幾可置諸度外。

碳酸之歷史，可以第十五表表示之。

脫離生命之循環而形成碳酸鹽、煤及石油之碳素量，與生物質全體之碳素量比較，不過一小部分，其大部分仍由生物而

第十五表　碳酸之地球化學



起循環現象。

被生物吸收之碳酸，其大部分仍保留於生物質內。某種生物有二氧化碳放出時，即刻又由他種生物吸收之。

此種事實，在一八三八年，大自然科學家貝爾氏依生物節制自然界之定律(loi de la parcimonie; sparsamkeitsprinzip)以說明之，且主張有機性碳素變移成無機性碳素（表成碳素礦物），其進行極緩。蓋碳素脫離生命循環：

$$CO_2 \rightleftarrows \text{生物質}$$

其事至難，且其脫離者不過微量而已。

總之，一部分之碳素有脫離生命循環之事實，即此種循環，有一部分呈非可逆狀態。此種事實，在地球歷史上實有重要意義。

五十二　生命循環非完全爲可逆性

百餘年以前，波蘭醫師斯尼亞得基(A. Sniadecki)之名著中，曾述及生命循環之重要及其規則。據彼考察，脫離循環之碳素可由火山作用等地質作用，以復歸於生命循環系中。此種學說，須由廣義以解釋火山現象，對於侵入變成帶而被火山岩燃燒之有機物，亦非加入考慮中不可；否則與事實不相一致。

碳素脫離生命循環之事實，亦不能僅視之爲偶然現象。

考碳酸鈣、煤、瀝青及石油等，其根源由生物而來。此等化合物中，有一定化學組成之物質，其量雖微，而其組織則甚堅固。蓋生物生存時所產生者，仍保存原狀以遺留於礦物中，生物死後，起分解作用，遂至變爲表成或變成之碳素化合物。此種碳素化合物中，其形成礦物，經長期或短期脫離生命循環者，不過爲比較小之部分。如此複雜之變成作用，直至近年，始漸達明瞭之境地。

碳酸鈣岩（卽石灰岩）之生成歷史，自昔已知之。蓋生物之貝殼，或碳酸鈣與氮素物緻密混合之生物骨骼等，可以形成此種岩石。而其所含之碳酸鈣，或直接由生物產生，或其合成作用之根源在生物。在水溫比較高之海洋及鹹湖等，單細胞藻類可使碳酸鈣成爲魚卵石(oolith)，又由細

菌 bacillus calcis 之作用，復變爲其岩層。

鹹湖中之石灰岩，由細菌作用以生成，那德松（G. A. Nadson）氏早（一九〇三年）已知之；但海洋中之石灰岩，至不久以前，始由青年學者篤琉（G. Drew）氏發見，且此現象隨研究之進步，而愈見其重要。然細菌在天然界之機能，未充分明瞭之點尙多；卽如海水中之碳酸鈣，已知其實受生物所起分解物——例如蛋白質狀物——之影響而沈澱。然而大部分之石灰岩，則由細菌作用以生成。故細菌對於碳酸鈣之生成作用，似僅有被動的關係，當其生活時，似仍放出二氧化碳，以入於含有鈣離子之海洋水中，亦未可知。

同樣，煤之生成亦與上述現象相同。據地質學方面研究煤礦床之結果，和煤之結構與化學性，與其根源生物實有密切關係。

誠如是，則形成煤主要部分之「腐植物」(humusstoff)，其成因與木質(lignin)有關係，所謂木質，乃植物生活時生成之物，有特殊分子結構。其實煤之主成分，其原料非纖維素(cellulose)，據菲雪及許拉得(Franz Fischer u. H. Schrader)主張，謂其屬於芳香族化合物之木質。當植

物漸漸變成泥煤、褐煤等時，其剩餘之木質量漸漸增加；反之，纖維素受細菌之作用，漸漸分解，其所含碳素，復歸於生命循環系中。

石油亦呈同樣之現象。其所含氮及氧化合物之根源，應由甲基喹啉(methyl quinoline)及膽石醇(cholestrine)而來，此等物質亦由生物生活時所合成，及變成石油，遂脫離生命之循環。石油主成分碳化氫之生成史如何？今日雖尚未明，然其根源，必同由生物而來無疑。

生物體所含之木質及甲基喹啉，其量雖極少，然變成碳素礦物之後，其所集中之量則甚大。

此種集中，須有一定之外界條件，即需要特殊之環境，但亦不因此而完全脫離生命之循環。生物有多數機構，能破壞此等化合物，使其元素復歸於生命循環之中；即如碳酸鈣及木質，亦受特殊生物之分解作用，而被利用以構成該生物體之必要部分。

蓋生物質中之大部分碳素原子，常復歸於生物質，或大氣中之二氧化碳，如上述之狀。惟有小部分變成碳酸鈣，或腐植性有機物，或瀝青質等表成礦物，而呈集中之現象。此等新生成物隨處皆有，遂至分散於地殼之全物質中，已如前述。

煤、瀝青頁岩、土瀝青、石油等礦床所集中之碳素，其所需要之條件有一定限制。

普通大氣環境中之生物質，隱花顯花陸生植物，及陸上動物質等，不能產生鉅量之表成碳素礦物。如土壤腐植物及熱帶海鳥糞等，可作生物質在露天所受風化而成堆集物之代表。然此等物質達地下深處，受完全變質作用時，其所生成之碳素礦物量仍極微小。

地面上乾燥氣候帶之碳素，形或高度分散之微塵，脫離生命之循環。此等碳素微粒，分散達變成或初成圈，始集成碳素礦物，然在此等深圈，微粒狀態之碳素甚不穩定，或再結晶及形成集塊，遂至燃燒而形成二氧化碳。

在水中則與此相反，碳素起局部集中現象，脫離生命循環，在一定條件下，形成大規模之堆積物。

就陸上水體而言，在此種條件下，生成煤、瀝青、石油；尤以沿海地帶最多。反之，大洋底則僅堆積生物化學的碳酸鹽類。

總之，碳素礦物之局部集中，可視爲自然地理學作用之一分派，與地質時代及現在生命循環

有關係。

五十三　碳酸鈣之生命循環

由生命循環，即由

$CO_2 \rightleftarrows$ 生命物質

而脫離之碳素，其大部分形成碳酸鈣，已屬明顯之事實，而此礦物則多集中於海產生物中。

碳酸鈣在碳素表成礦物中，又佔首要地位。其分布之量，除根據其形成海洋生物質之大集中而外，尚有次述事實可作根據。即碳酸鈣之生成，與其更大至數十倍量之鈣歷史有關係是也。

地殼所含之碳素量，若認其與 1.3×10^{17} 公噸相當，則鈣之量與 1.1×10^{18} 公噸相當。表成碳素礦物，到處可以發見，往往形成鉅量之礦床，與石灰岩或煤等相似。此等表成礦物，每誤認其過於重要，其實不然，蓋忘其為原來生物質量之微小部分故也。每年脫離生命循環之碳素量不大，其鉅量之集中，須隨地質時代之經過而始出現。

次列第十六表，乃就上述各種碳酸氣，依其量排列而成，以之與上述諸現象比較，可得其數量之概念。

第十六表

1.	與生物質全體碳素量相當之 CO_2……$5\times10^{15}\sim5\times10^{16}$ 公噸
2.	大氣中之 CO_2……2.2×10^{12} 公噸
3.	海洋水中之 CO_2……1.0×10^{14} 公噸
4.	石灰岩中之 CO_2……3.1×10^{16} 公噸
5.	與煤中碳素相當之 CO_2……2.2×10^{13} 公噸

試觀上表，可知有若干多量之二氧化碳，由生物質向石灰岩移動。且上表所列數字，皆爲最小限度，足以窺其規模之大矣。

蓋由生命循環脫離而出，形成石灰岩之二氧化碳量，比較大氣中及海洋生物質中所含有之二氧化碳，與人類可得利用之煤中碳素換算成二氧化碳等之合計，超過數百倍以上，其事至明。

但石灰岩中之二氧化碳，若與地殼中分散狀態之碳素物、瀝青、碳化氫、腐植物、碳酸鹽、自然碳素等之生成原料二氧化碳比較，則爲量甚小，亦屬明顯之事實。地殼所有一切物質中，皆浸透分散狀態之碳素物，任何初成乃至變成岩，未有不含之者。其存在於初成岩中之量固甚微小，然碳素在此等狀況下分布之量，實較吾人所想像者更多。

今述數例如次，以作了解此種數量之補助。例如溶解於河水而運入海洋之有機物質，每年超過 2×10^{18} 公噸。而海水中溶解者則有 5×10^{12} 公噸，或在此以上。

然而水體不過爲全地殼質量之百分之七（就重量言），而僅存痕跡之碳素，地殼中所在皆是，且新生成者又源源而來。除石灰岩及白雲岩之外，分散於水成岩中之碳素量，其總計亦甚大。據克拉克計算，此等岩石所含分散狀態之碳素，最低限度亦達 7×10^{16} 公噸。且此數字僅爲黏板岩及泥板岩之含量，矽岩及礫岩尚未包括於其中。況水成石英中，鮮有不含有機物者，故假定由碳素量 7×10^{16} 公噸以推算其原料有機物及碳素化合物，則最少亦必達 2×10^{16} 公噸。

此等碳素之分散狀態，爲各種化學作用及生物作用之附屬現象。如前所述，人類燃燒煤炭等

類，常常放出多量之二氧化碳於空氣中。在歐洲大戰以前，每年放出之二氧化碳量約達1×10^{9}公噸以上。即就斯密司(A. Smith)昔日之研究而言，人類放出二氧化碳之外，同時每年又放出1×10^{7}公噸之煤煙（碳素及瀝青）。綜合上述統計而言，可證明次述二種事實：

（1）由生命循環脫離而出之碳素，大部分成高度之分散狀態，以分布於地殼所有一切物質中。

（2）此種碳素之大部分，成爲碳酸鹽，尤其最多成碳酸鈣而存在。

此種碳素物之形成作用，對於鈣之地球化學史甚爲重要。此處不能詳述鈣元素之歷史，僅就其生物根源之大現象，略述數言如次：在石灰岩中，由純化學沈澱而起所謂無機成因者，實不存在。據詳細研究地殼所起諸作用之結果，愈確信其大部分由生物化學沈澱而來。今日任何表成化學作用，決無斷絕生物關係，而能集中顯著之碳酸鈣者。至於由純化學作用所成之沈澱碳酸鈣，雖亦有時發生，然立刻分散而僅留小量，且幾乎常由生物消耗之。

鈣爲生物質中分布最廣之一種元素，已如前述（第四十七節第十二表）。即鈣屬於第二羣

階段，生物質中約含有百分之一以上之鈣。其比例與生物質中含有之氮及碳等約相同。生物所到之處，莫不探求鈣素，凡可利用者——例如細塵常含碳酸鈣——即刻攝取之。如是，則分散狀態之碳酸鈣，可直接進入生物質中，參加生命循環作用。而生物攝取鈣素時，其所費之勞力實大；例如比勺夫之計算，謂牡蠣構成其貝殼時，須吞吐鉅量之水，約與其體重之 $2.7\sim6.6\times10^4$ 倍以上相當云。

海洋水中之碳酸鈣，不成爲 $CaCO_3$ 之形式而存在。鈣素被河水運搬時，成爲碳酸鈣或酸性碳酸鈣等鹽類，大部分呈離子狀態，然在海水中，由生物之作用，遂至含量大減，故無碳酸鹽存在。

海水中之碳酸鈣，幾乎全部進入生物質內，或由生物化學作用，變成固體物質。即就海洋表面而言，亦屢屢有生成碳酸鈣之現象；據研究之結果，知此現象乃由微生物生活時所起生物化學作用而來。

碳酸鈣在生物體之組織內成爲結晶，是明明與生理機能有關係。其結晶常與含氮有機物混合成緻密狀態。

若無生物存在，或生物甚稀少時，鈣之沈澱，須水分蒸發達飽和狀態以後，始自然發生，而其沈

澱則以硫酸鈣爲主。但在海洋方面，則沈澱者僅爲碳酸鈣。此因海洋中生物充塞，故惟積之碳酸鈣，乃由生物化學作用而來，而硫酸鈣沈澱，則須假定無生物存在，完全由鹹水蒸發變濃所致。

此種現象，不問地質時代如何，完全無關係，海洋中有所謂「鈣生物」羣，乃一羣動植物營鈣之集中作用而成之現象。此等生物體內，約含有10%以上之鈣，比其所含之碳量更多，而與其所含之氧或氫之量約相等。所謂鈣生物或稱石灰生物，卽軟體類、腕足類、棘皮類、珊瑚、水母、蠕蟲、石灰藻類及海百合等，其生活時旣可集中多量之碳酸鈣，尤其在死後集中者更多。其一部分復成爲溶液，被其他生物攝取或直接利用，又復歸於生命循環之中。然貝殼及骨骸等所含之碳酸鈣，大部分殘留不變，形成碳素之集中狀況。若遇水成岩之生成作用等地質現象，致脫離生物質的活動範圍，遂由機變作用(diagenesis)而生成石灰岩。

今日形成碳酸鈣之大部分者，非海洋中形體較大之生物。其最主要之部分，反由人目難見之細微生物而形成。此等細微生物之研究，除有孔蟲之外，自古以來未加注意。其對於石灰岩之重要，大約一百年前，始由挨侖堡發見。彼將林內氏所主張：「石灰由蟲類而來」(omne calx e ver-

mibus）之舊定律移入於新科學界；以現代科學語表之，其所謂蟲類，蓋指無脊椎動物而言。至於發見微小生物有更重要之性質者，乃二十年前之事。卽浮游生物屬之單細胞藻類及 Cocco lithophoridae 屬之 Cocco sphaere, Rabdo sphaere 等二種細微生物，多羣集於浮游生物中，繁殖極速。更至現世紀，又發見鈣細菌，其對於碳酸鈣之生成，更有重要關係無疑也。

由海洋生物以計算碳酸鈣之堆積量，勿寧計算其量之順序（order），較爲可能。河水中溶解之碳酸鹽或酸性碳酸鹽，每年運入海洋中之總量，同時可視作堆積於海底而有生物根源之碳酸鈣。

克拉克就上述二者分別計算之，其結果如次表所示，大約爲同次之數位：

第十七表

與 CO_3'' 及 HCO_3' 結合每年由河水運去之鈣量……	4.56×10^9 公噸
成爲石灰岩每年堆積之鈣量……	6.6×10^9 公噸

觀上表，可知碳素在表成帶所起之地球化學循環，卽二次或初次之生命循環，非完全之可逆

現象。其一部分常由循環脫離而出，以形成水成岩。

此種非可逆性之碳素量，一見似甚多，然與生命循環：

$$CO_2 \rightleftarrows \text{生物質}$$

之全碳素量比較，則極其微小。而由此循環脫離之碳素，大部分成爲碳酸鈣之堆積物，已如上述。此種堆積碳素之量，每年應有 2.2×10^8 公噸。就某瞬時間地球生物質所含全碳素量觀之，此堆積量似約與之相等。

然每年出入於生物質之全碳素量，決非某一定時間內所含者可相比擬。此種量甚鉅，現在不能計算之。

碳酸鈣所含之碳素量，與生命循環中之總量，固可相比較，但不可與生物質所含者對比。由此比較，可知其不過爲生命循環中之極小比率而已。

此微小比率，隨地質時代之經過，而漸成鉅量，其生成作用，在地球化學作用中，應列爲最顯著者之一種。

且此量有一定限度，其不能隨地質時代之經過，以增加至無窮者，乃當然之合理結果。蓋此種碳素，可再成二氧化碳之狀態，以入於新生命循環中。如斯尼亞得基之想像，謂凡參與生命循環之碳素，若假以充分之長年月，則仍可復歸於原來之狀態。

然此事現在不能確定。縱令可見其歸還，但其大部分，被無關太陽熱——生命循環之原動力——之能所犧牲故也。

分散狀態之碳素中，由氧及臭氧等活動，在地面上徐變成二氧化碳，以復歸於生命循環者，實不過一小部分耳。

分散系之碳素，其大部分僅在地殼深層，變成或初成圈，受熱之作用而起變化。其不達地下深層者，永久存在於生命循環系之外，即在不定期間而保持其分散狀態是也。

然此種生命循環系外之碳素，對於地殼機構，亦有重要之效應。何則？以充分氧素供給生物圈者，此種碳素之功實大。總之，此種碳素一方面成爲碳酸鈣，他一方面成爲不含氧或缺少碳之組成物，如煤、瀝青、石油、天然碳素等，以存於自然界。

生物質能分解二氧化碳及水，放出氧素。此氧素成爲游離狀態（卽自由狀態），以混存於大氣中。故大氣中之氧素，皆由此種根源而來。

假若碳素全部皆在生命循環中，不脫離以形成碳化氫、煤、游離碳素及碳酸鈣等，則大氣中將無游離氧素存在，凡與氧有關係之化學作用，將完全停止矣。

氧爲地殼之活性元素，其所有化學能，他種元素皆莫與倫比。

故地球上游離氧素之總量，與煤、石油、瀝青及碳酸鈣等之總量間，必有一定的數量關係，但吾人尙鮮知之者。

觀上所述一切，吾人研究生命循環之非完全可逆性，可說明更重大之問題。

此研究領導吾人入於可開展之科學園中，使吾人與生命及能(energy)之大問題接觸。是卽爲地球能之科學，其發展尙有待異日。

大約九十年以前，德國醫師邁爾H.R.(Heilbronn R. Mayer)始闡明綠色植物由此種生活現象，而變化地殼能之關係。彼以爲植物變太陽之能，在地球上化學作用之適當條件下而同化

之。

邁爾H.R.之思想，在能常住及不變之觀念侵入科學思想界以後，尙久未得學界之了解。其著書出版後，經許久始得一般人承認，及至現代，亦認爲當然之結論。卽煤含有過去地質時代太陽熱之「化石」能，人類利用此「化石」作燃料，使其能(energy)又成新活動狀態。

察生物質成爲植物之形式，吸收太陽熱而蓄積之，此蓄積變爲表成碳素礦物之煤，可保存數百萬年。

吾人對於邁爾H.R.氏之思想，尙須推廣至一般現象。卽太陽之能，借植物作媒介，不僅蘊藏於直接由植物生成之煤中，凡碳素之表成礦物、碳酸鈣及所有一切生物根源之礦物，以及其他大部分之一般表成礦物，或多或少，莫不有潛伏之能存在，卽成爲「化石」狀態之能而保存之。

蓋凡與生命現象有關係之生成物，莫不蓄積太陽能。此能雖可視其僅爲分子之化學力，然實由生物吸收太陽能以轉變而來也。

從來科學界所研究之生命現象，其最奧妙之點卽在此，吾人於此，卽可與生命之玄妙問題相

接觸。欲了解地球化學所觀察諸現象之科學的及哲學的意義，則此處實有略爲述及之必要。

五十四　勒狄原則

與生命現象有關係，而最足引人注意者，有次述二種事實：

其一種事實，爲生物及無生物之間，有不可超越之界限存在。他一種則爲生命現象中之能，有特殊之性狀是也。察生命之能，與其他所有自然現象之能，其觀感完全反對。

據吾人所有經驗，無論何時何地，決未見新生命出現於地球上。即就吾人所研究之地質現象而言，所有生命，亦常由原存在之生命而來。至於地球歷史之遠古宇宙時代，則不包含於地質學及地球化學之研究範圍內。吾人在積極的事實與宇宙觀的思想二者間，所有假說及想像，不可不有明顯之區別。此種假說，雖對化學之進步有相當必要，然其確實可信及權威，則與觀察或經驗所得者迥異。宇宙觀的論說，若無可根據之科學事實存在，則其推論亦屬無稽。

距今二百五十年前，意大利學者以自然科學家而兼醫師及詩人之勒狄(F. Redi)氏，始發

表一種新思想，爲人生歷史上所未曾有者。其思想至數十年後，更由意大利有名之自然科學家發利斯尼里（A. Vallisnieri）推廣及一般現象，且完成之。俄肯（L. Oken）根據發氏之思想，作成簡明之標語，謂：「凡生命由生命而生」（Omne vivum ex vivo）。此卽否認生物之自然發生說，主張凡有生命之物，其生命自始至終繼續不變。自巴斯德之偉大實驗（見第三十七節）以來，此種經驗原則，漸成爲科學的事實，有不可動搖之勢，在自然現象中，此種原則——卽爲生物與無生物之境界——決不能磨滅。自古至今，雖有無數研究，欲由無生物以發生新生命，終未成功。然而過去世紀中，其發生此種研究之動機，非受科學的事實所刺激，乃以哲學思想之慣性及宇宙觀之傳統觀念爲根據者也。此等研究，雖與宗教觀念及詩觀念有關連，然與精神科學又完全不同。

就研究碳素之地球化學史而言，決未見由無生物發生之痕跡；又在地質時代，亦決不見有機物能由無機物而生成之現象。

蓋地球化學以生物質與一切化學元素之密切關係，昭示吾人，且表示生物質獨當地殼機構之一面，與無生物迥異。所謂生物可由無機物而發生之說，旣無存在餘地，且決未見有其存在之徵

兆焉。

故吾人既須保存勒狄氏之經驗原則；同時須知所有各地質時代，生物與無生物之間，常保持一定之界限；且在此兩世界（無生物界與生物界）中，任何地質時代，常繼續物質之交換現象，與現世正相同，在科學上從未發見反證之事實發生。

誠如是，則亞細亞方面所有哲學宗教精神之思想，認生命永遠不滅一層，漸侵入吾人對於宇宙之科學觀念中，在上述經驗之範圍內，其思想甚合理可信矣。

凡一切地質時代，生物質常成爲能之根源，常成爲活性狀態之物質，對於地殼中一切元素之地球化學史，呈現大活動之景象。

反之，無生物界在現世固不待言，即在過去幾千萬年之地質時代，其狀態亦與生物界完全不同也。

五十五　卡諾原則與生物之能

由自然界全體，以判斷生物現象之第二種經驗事實，則爲生物作用能之特殊性。

就宇宙範圍而觀生命能學（energetik）之思想史，其連續不斷之關係，概由思想家、科學家、哲學家所表現而出。此等學者雖得大略相同之觀念，然問題依然未脫舊觀。至於現在之肯定觀念，其來源亦甚古，在創說能之書籍中，亦可見其簡單之暗示。卽生物能與無生物能之差異，由熱力學之創設者邁爾R.(Rob. Mayer)、湯姆孫（卽克爾文）(W. Thomson: Lord Kelvin)、赫爾姆霍斯等所闡明。然其對於問題之解釋尙淺，又難直接作其他之應用。惟青年早逝之俄國學者坡多林斯基(S. Podolinsky)，對於此問題完全了解，且欲將此思想應用之於經濟學現象。此種思想對於哲學觀念亦有影響，尤其對於柏格松（H. Bergson）之觀念，有重要之功用。

然認識生物能與無生物能之特徵，採用最豐富之材料，經數回推定而得之結論，則以愛爾蘭之爵里(J. Joly)教授爲嚆矢。自古至今，經過多數研究，此種思想逐漸侵入吾人之科學思想中。然尙未達完成之域，故尙難加入於吾人之宇宙觀中。

碳素之地球化學史，卽肇此種思想之端，將來之希望甚大。

由能之見地以研究自然現象時，普通須遵從卡諾（S. Carnot）氏之原則。自然作用，常有損失能之意味存焉，凡得成一功（work）之活性（自由）能量，每經一自然現象而愈減少，變成熱能以逸散。如是，則增加宇宙之熱容量因子，即增加所謂熱之熵（entropy），而熱之溫度漸失其差異。假若宇宙有限，自然現象有窮盡之一日——即所謂世界滅亡——，則各種能可失其差別，全部變成一樣，則現世所見能之交換式增減等自然現象，將歸消滅。此種推說，久成爲確實之結論，普通信其爲一種自然定律，且可衍生多數科學的發見，從未見有例外。此種世界滅亡之哲學思想，同時與人類之玄妙感想，及自然理想化且神化——神人同化同體說——的思想，甚相符合。但卡諾原則之價值及其適合一般現象之性質，今日之科學家及哲學家，尚鮮精確之評定，對於現在之科學、哲學或數學等，尚屬於自由出入之園地。

現在科學思想發達，對於卡諾原則之價值，可得明顯之論證，從來數學及哲學方面未曾研究之新境域，有漸開拓之勢。此蓋物質與能之關係，大改舊觀，歷來之見解起大革命所致。自卡諾氏（一八二四年）及克勞修司（Clausius）氏（一八五四年）以來之舊物質觀念，今日不僅根本

起變化。卽對於能之見解，亦由新經驗而改變初態。惟此種革變，將來向何方進行？成何結果？今實不明。

卡諾原則，勢非添加新意義不可，已無容疑。

察生命現象爲經驗的事實，與卡諾原則所屬之其他現象，不能同出一轍。能之消耗及變成熱而逸散等現象，在葉綠素生物或無機營養之微生物，決不發生。

事實上既有此等生物存在，根據此事實，則可得作功之能量，當此等生物之生命告終時，不惟未見消耗，且反使其周圍自然界之能有增加。如調整綠色植物之氧素，該植物餘滓所成之煤，形成動物體與動物營養之有機物，生物移動作用，以及其他千差萬別之理化現象，皆可發見未消耗之能存在。彼研究高等動物機能之生理學者，固不敢斷定其必得此種結論；然由綠色植物供動物界之犧牲一點而言，亦可知其存在也。若植物絕滅，則動物亦必遭同樣之命運。蓋動物界非僅代表自己之生命；在其體內，常消費葉綠素植物所積蓄之能。然一切動物，尤其是文明人類，與上述綠色植物之特殊熱力學現象，有呈同一現象之觀。如是，則凡動植物卽生物界，與卡諾原則之解說相反，乃

代表反對之自然現象。由生命現象及上述諸現象觀之，最後結論，可知地殼上常有自由能增加。而在生物圈現象中，因有生命存在，宇宙之熱容量因子（熵）則應減少也。

由上述經驗所得的知識；遂至生新思想。德國物理學者澳厄巴哈(B. Auerbach)曾創一種原則，與熱熵對立，稱曰「新熵」(ektropie)。彼及其他學者正努力研究，欲由此原則以達到新結論。

然吾人並無需新假說之必要。克勞修斯之熵，有一定之意義，非指自然現象之事實而言，不過用數學以說明自然現象時，爲有用之名詞而已。此種數學的表現，與經驗的事實比較，僅常得其近似。根據上述生物之特殊能學作用，可得下述結論。即卡諾原則之普通形式不充分，其適用範圍須加限制，對於普遍之應用，尚有保留之必要。

然此矛盾，不過爲外觀上之現象，吾人對於一般生命所有之表現，未深研究，所有觀察，不過爲極複雜現象中之一部分，故將來若能知其全部之眞相，則此矛盾或將消滅，亦非不可能。

次節所述者，爲現世紀發見之新現象，亦爲對於卡諾原則所起生物質外觀上之矛盾。

五十六　生物圈及生物質之自由能

再觀碳素及生物質之地球化學史，可見能之表現有與生命相同者。

生物質依二種方法，而增加地殼之自由能（或稱游離能）。其一法爲可逆作用，他一法則由放散氧以與周圍之其他元素交換。蓋生物以太陽之輻射能作犧牲，生成鉅量之運動能及自由能。生物在地球全表面上之發展，可增強地球之化學能，其功用實大。生物之繁殖作用，在地面上可調節地球化學能之分布及元素之移動，其機構爲生物圈中他物所不能比擬。若環境最適宜時，則生物生成此種分布之速度，可達於物理許可之最大範圍。

卽生物成爲能之調節器，有使其平均分布於地球全表面之勢。故地殼之全表層，由生物質作媒介，成爲運動能及化學能之表演場矣。

若由太陽之輻射能恆一定不變一點而言，則此種能之分布，亦恆一定不變。

同時，生物質由不可逆之作用，蓄積太陽能，使其成爲化合物，移入地殼深部，在一定條件下，此

化合物形成燃料及碳酸鹽，又可發生出自由能。此種能之蓄積作用，與時俱增，至達地質現象所支配之界限爲止，應繼續不息。由太陽放出之輻射能，又借生物質之媒介，同時常集中成爲氧素化合物，一切生物源礦物，或一切表成礦物（與生物常有多少關係），決無例外。

如此生成之礦物，或受分解作用時，或在新熱力學條件下，變成堅固之礦物時，其蓄積之能亦漸漸發散而出。

碳素化合物卽如此蓄積太陽能，又漸喪失殆盡，最後成爲堅硬穩固之物質，據吾人所知者，已有二種：其一爲天然碳素卽石墨，他一種卽爲二氧化碳。純粹之二氧化碳遂達於地表再入於生命循環中；石墨則或在高度分散狀態時，受細菌之氧化作用，或至初成帶或岩漿帶，雖有高溫及自由能之影響，若不受某種化學作用，仍可保持其原狀而不變。

穩定之碳素物，惟限於高度分散狀態時，始能起此種化學反應。而此種高度分散狀態明明與生物質有關係（見第三十七節），其終局仍不外爲太陽能之產物。

察地殼之經濟問題，最重要者，普通不在煤、石灰岩、石油等礦床之大小。惟到處有分散痕跡之

細微碳素物，方足以勝此重任。蓋此種碳素物富於化學活性，易起氧化，到處皆成爲化學活動之中心。

高度分散狀態之碳素物，其粒子愈微小，分子表面力愈強，其可起之化學反應，有普通能所難達到之效力，遂至表現成爲大規模之地球化學現象。

由地質學見地觀之，此種現象其所以重要者，蓋如此高度分散之機構，非集中多量生物質於海洋，乃使其集中於大陸、島嶼，尤其是集中於氣圈故也。

如是，則此等部分之地殼，有新地球化學之功用可知也。

要之，生物質構成地殼機能最重要之部分，蓄積太陽之輻射能，不僅使其變成物理學及化學的工程，且使其達於太陽輻射線不能透入之地殼深部。

五十七　人類之地球化學活動

碳素之地球化學循環，及隨此循環而生其他元素之地球化學史，不必隨時代之經過而永遠

不變，動植物之種子進化時，其構成中之化學分子亦可起變化。然化學成分所起如此變化，在各地質時代，僅有生物質可以見之。除此之外，就無生物界而言，自太古代（原始代）起，至第四紀大冰期止，常見有同樣之礦物，及同樣礦物之集合，且常見天然生成同樣之化合物。

然在現今之地質時代——即所謂心生代（psychozoique; psychozoikum）或精神時代（l'ère de la Raison; der Ara des Geistes）——，又有極重要之新地球化學事實出現。察過去數千年人類之地球化學活動，即收穫綠色生物質之農業，日見興盛，而種類亦日見增多。此種地球化學活動日見強大，而其發達之速度亦堪驚人。此即人類之個人精神及團體精神對於地球化學作用之活動是也。借人類之力，可使生物質對於無生物之活動，成爲新形式，由此新式活動，遂至生物質與無生物質之間，原子交換亦有新可能性。天然生物，僅對於其自己生成、營養、呼吸及繁殖等所必要之化學元素史，有支配能力。然而人類更能擴大其範圍，因欲維持及發展工業等文化生活條件，遂使此等條件所必須用之各元素，亦加入生物界中。就此點而言，人類不僅可稱爲「萬物之靈」（homo sapiens），實可稱爲「自然界之勞工」也。

且人類對於一切化學元素，皆發生影響，可變更一切金屬之地球化學史，使其生成新化合物，其量之大，可與天然產礦物相伯仲。此等事實，對於一切化學元素史，皆有重要之意義。其在地球史上，可謂爲空前壯舉，可製出從來所不存在之新化合物，遂致地球之相貌亦起顯著之變化。此等人工產物，例如銅、鐵、錫、鉛等之純金屬，燒石灰及燒煤時所生之二氧化碳，化學工業或冶金工業所放出之二氧化硫及硫化氫等等，有逐漸增加傾向之人工產物，就地球化學而言，亦與天然產礦物相同。由此等新產物，可使過去永遠繼續而來之地球化學循環，進入新軌道。人類之文化愈發達，上述諸作用之影響愈增加，向生物質現象移動之物質愈多，則與此有關係之原子數，亦必漸有增加無疑。

然此種現象，決非偶然，考其由來，實可依古生物學的進化全程，而可豫定之。人類所有諸作用，亦爲自然現象之一種，與其他現象完全相同；所異者不過外觀甚新，似與卡諾原則不一致而已。

此等新地質學現象，是否永遠繼續？若其不然，則至何時告終？何時始可見各種作用停止？詩人及哲學者，對於此等問題，或有所解答。然其解答之中，縱令由科學家觀之，不必謂其無，亦難認其缺

乏或然性據研究地球化學之結果此等作用甚爲重要，與地殼之一切化學機構有密切關係。而其作用在進化之狀態中，其最後之結果如何？現在殊難預料。

然今日盛行之諸現象，在將來多數世紀而可繼續，足以使一切元素之地球化學循環起大變化。卽新組成物日有產生，其在地殼熱力學之條件下，比較天然礦物不穩定，故可作爲更強能源之代表。如是，則地球史上自遠古以來，所有一定之地殼活動能，因人類活動之結果，而有新加之傾向。

人類所到之處，可使脫離從來循環——永遠的地球化學循環——之原子量增加。卽人類擾亂地球化學循環之軌道，添加新產物，使舊組成物蒙其影響。是卽爲新地質學的能，與人類共同出現於地上。

期限卡

Date Due

著者 Author ( )弗那斯基

書碼 Call No. 553.3 062 1.3

書名 Title 地球化學

登錄號碼 Accession No. 211987

月日 Date	借閱者 Borrower's Name	月日 Date	借閱者 Borrower's Name
5/10	黃靜 U5814		