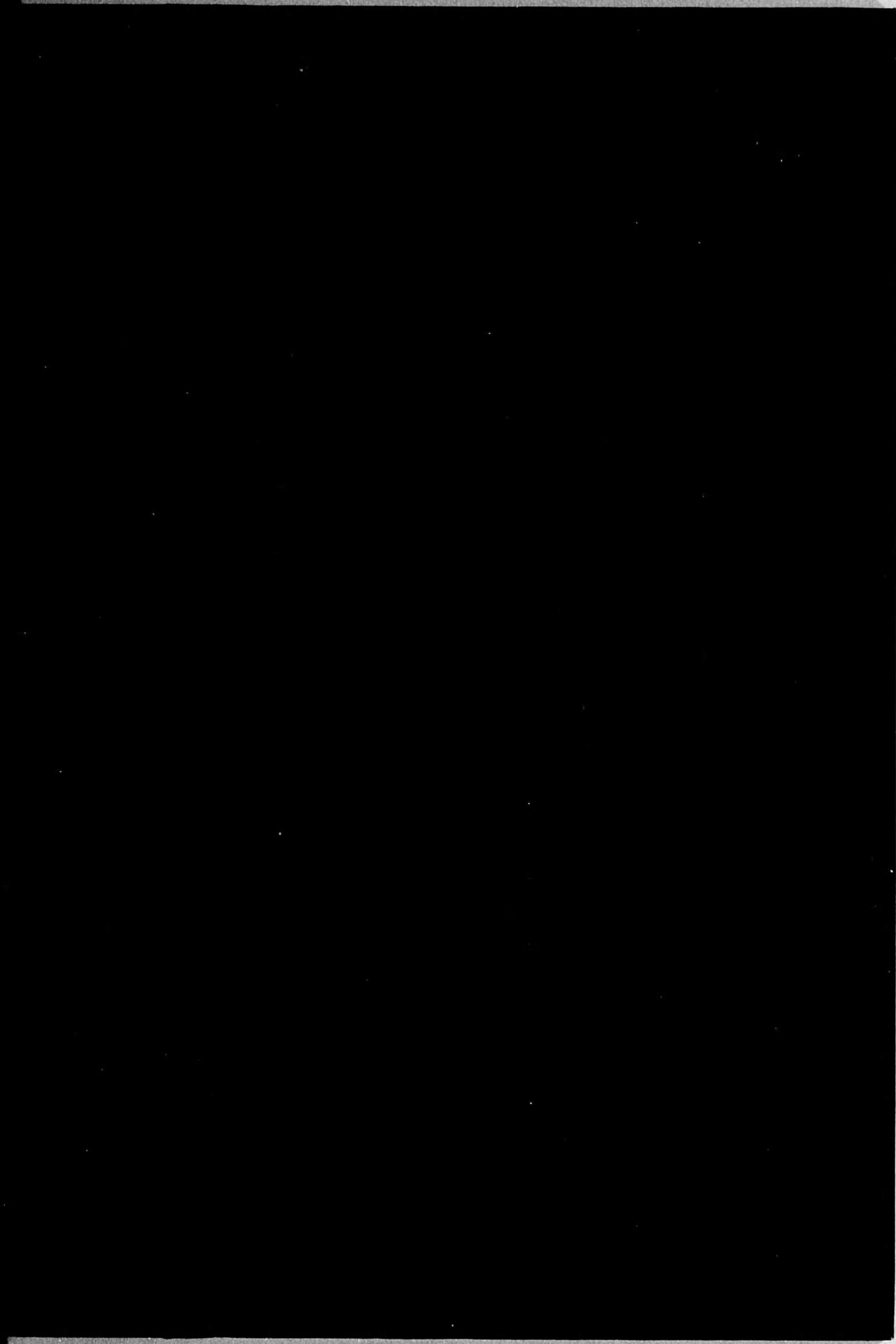


始





481.5  
G55



280

481.5  
G55



生物學集書

2

光と動物

東京帝國大學教授  
理學博士

合田得輔

TOKUSUKE GODA



河出書房



## は し が き

われわれ人間には、有難みに慣れるという悪い癖がある。空気にしても、水にしても、これがなければ一日も生きてはゆけないのに、ふだんはその存在さえ忘れている。手や足にしても傷をして繻帯でもすると、初めてこの手足が如何に精巧に作られており、日々の生活に如何に必要であるかを痛感する。

光の必要さ有難さも、水や空気に劣るものではない。研究結果を人間の物質的生活面に利用するというのも科学の大きな目的である。併しそのより大きな目的は、ものに對する有難みの氣持を、正確な事實によつて充實することである。

つまり經驗的事物の意味を見出すことにある。學問の面白味もここにあるのであろう。私は平常こういつた氣持で勉強している。この本を書く氣持にも、この點變りはない。

この本はまだ専門の研究に入つていない人々に讀んでもらう積りで書いた。従つて可なり初歩的な説明を繰り返した處も多く、文獻も新舊を問はず特に目立つた研究のものだけ擧げるに止めた。併し、光と動物との關係を説くのに化學現象を仲介にしたために、化學知識は少くとも高等・専門學校程度を標準としなければならなかつた。第3章の光の化學作用に多くの頁を費したのもこのためであつた。

そして多くの事象を羅列するよりも、如何にして研究がなされ、結論がつけられたか、また今後どの方向に研究が向くかということを示すに主眼をおいてみた。またこの本は入門の書ではあるが、その道の専門家



がみられても、何かの参考になるだけの事柄も取扱つておいた積りである。

読者のうちの一人でもが、何かしら得ていただけたら私の幸である。

本書を読んで、更に専門的な知識を要求される人は、次のものを讀まれることを勧める。

柴田雄次：分光化學

太秦康光：分光化學分析法

有賀 輝：光化學

山田幸五郎：紫外線

中村 浩：發光微生物

尾形輝太郎：感光色素とその應用（河出化學集書近刊豫定）

Pincussen, L.: Photobiologie, Leipzig.

Winterstein's Handbuch d. vergleichenden Physiologie, Bd. 3, 4, Jena.

Handbuch d. normalen u. pathologischen Physiologie, Bd. 16, Berlin.

v. Studnitz, G.: Physiologie des Sehens, Leipzig.

Krause, A. C.: Biochemistry of eye, Baltimore.

Koller, G.: Hormone bei wirbellosen Tieren, Leipzig.

Harvey, E. N.: Living light, Princeton.

昭和21年8月29日

著 者

## 目 次

### はしがき

第1章 總 說	9
第2章 光の一般的性質	9
1. 光の本體	9
2. 輻射線の種類	10
3. 光の吸収	12
4. 光の色と物體の色	13
5. 大氣の光線吸収	16
6. 水の光線吸収	20
7. ガラスの光線吸収	21
8. 人工光源	23
9. 單色光	24
10. 發光の種類	25
第3章 光の化學作用	29
1. 熱的吸収と光化學的吸収	29
2. 發エネルギー反應と吸エネルギー反應	31
3. 光と觸媒	32
4. 光化學的接觸反應	34
5. 鐵鹽の増感作用	35
6. ハロゲンの増感作用	36
7. 螢光性と増感性	37



8. 偏光の化学作用	41
9. 光と酸化・還元反応	41
10. 光と合成反応	48
11. 光と重合反応	51
12. 光と転位反応	52
13. 光の物理化学的作用	52
14. 生物体内での光化学的反應	54
<b>第4章 動物體の光線攝取</b>	55
1. 光線攝取の二型	55
2. 皮膚の光線透過性	57
3. 皮膚の光線反射性	59
4. 光と體色	60
<b>第5章 眼</b>	78
1. 眼の種類	78
2. 視細胞の二型	81
3. 視紅	82
4. 夜盲症とビタミンA	85
5. 圓錐細胞物質	86
6. 有色油球	87
7. 無脊椎動物の眼の感光物質	88
8. 視細胞の伸縮と黑色素の移動	88
9. 網膜の物質交代	92
<b>第6章 光とビタミン・ホルモン</b>	94
1. ビタミンD	94

2. ビタミン B <sub>2</sub>	100
3. 光によつて刺激されるホルモン分泌	107
<b>第7章 光と物質交代</b>	116
1. カリウムとカルシウム	116
2. 炭水化物	117
3. 脂肪	118
4. 窒素化合物	118
5. 日やけとメラニン生成	120
6. 呼吸	126
<b>第8章 光と細胞・組織</b>	128
1. 細胞原形質	128
2. 虹彩筋肉	131
3. 神経組織	133
<b>第9章 光と成長</b>	134
1. 培養組織	134
2. 幼生	136
<b>第10章 動物の發光</b>	138
1. 猫の眼の夜光	138
2. 發光バクテリアによる動物發光	139
3. 發光小動物の寄生による動物發光	141
4. 發光動物自身の自己發光	141
5. その他の發光動物	144
6. 化学發光	148
7. ルチフェリン	154



目 次

8. ルチフェラーゼ..... 158

9. フォトフェライン..... 159

10. ルチフェレッツェイン..... 160

11. 発光機構..... 160

索引..... 163

光 と 動 物



## 第1章 總 說

### Introduction.

原始時代から古代にかけて、どの民族でも太陽の恩恵を感じ、これを崇拜しないものはなかつた。人間をはじめとして地球上にすむ總ての生物が直接間接に太陽の恩恵を受けていることは、現代と雖も變りはない。ただ何故に太陽がわれわれにとつて有難いかという理由が少し變つてゐるだけである。

ギリシヤ・ローマ時代の學者は、生物に對する太陽の効果を、その熱作用だけに歸してゐて、光の光化學的作用には氣すかなかつた。太陽の光によつて着物の色が褪せしたり、植物の成長や成熟が起つたりすることは知つていたが、これらも光の熱に基く現象と考へていた。

中世になつて光の物理學的性質が可なりよく知られてきてからも、光と化學變化との關係に氣すくまでには可なりの時間がかかつた。十四・五世紀以來旺んになつた遠洋航海の結果、海に關する知識が急に發達したが、その中の一つに火の海に關する多くの報告がある。船が進んでゆくと、その舷側の海水が美しく光り、時には波頭一面に光つていて、遠方から明るくみえることさえある。こういつた報告に對して多くの學者の發表した見解は、みな物理學的解釋であつた。Bacon (ベーコン) は船と水とが摩擦するためだと云い、Newton (ニュートン) は水の分子が互に摩擦するためだと云い、Descartes (デカルト) は鹽の分子が摩擦するためだと發表した位である。また Boyle (ボイル) はこれを天體現象と關聯させて、地球の廻轉によつて、空氣と海水とが摩擦するためだと考へ



た。Boyle はまた或る日、臺所においてあつた牛肉が光つているのを見て、これも天體現象と何か関係があると思ひ、「その時、風は南西に吹き、気温は平常より少し高く、月は既に入りかけていて、氣壓計の水銀柱は  $29\frac{3}{16}$  インチであつた」と當時の氣象條件を詳しく書き残している。海水の光るのが夜光蟲のためであると判つたのは十八世紀の終りであり、牛肉の光るのが發光バクテリアのためであると判つたのは十九世紀になつてからである。殊にこれらの發光物の光が化學反應によつてだされることの判つたのは十九世紀も終りに近すいてからであつた。

學者仲間でこの位判らなかつた光と化學變化との関係も、一方では徐徐に解きほぐされていつた。フェニキヤの時代から紫色の着物をきることは非常な贅澤なことで、貴族階級の象徴であり、ローマ皇帝の帳羅は紫すくめであつたという。これは當時この紫の染料が、ホネガイなどの巻貝からとられたので、極めて貴重なものであつたためである。シシリ島にはこの染料をとつた後の貝殻を捨てた貝塚が今でもある。この染料は貝から取つたばかりのときは無色であるが、日光にあてると赤色を経て紫色になる。この日光の効果が單にその熱作用だけでなく、何にか他の作用によるものだと思つたのは染料業者であつた。これを日光の化學作用として學界に發表したのは Cole (コール) であつて、1685 年のことであつた。續いて植物が日光によつて綠色に着色するのは、光の熱作用と關係なく、他の性質によることを 1686 年に唱えたのは Ray (レイ) であつた。その後 1727 年 Schulze (シュルツェ) によつて、銀鹽が日光にあたると銀に變化することが報告され、後の寫眞化學の基礎ができた。この頃から光の化學作用に関する研究が特に寫眞を中心として旺んになつた。後には純粹な化學の世界でもこの方面の研究が行われるようにな

り、十八世紀の末から十九世紀にかけて長足の進歩をした。こうして積み上げられた多くの光化學的事實が、生物學に利用され始めたのは、十九世紀にはいつてからで、その最初の劃期的研究は 1803 年の Priestley (プリーストリー) の論文であつて、植物の酸素排出が光によつて起されることを研究したものである。

一方動物や人間に對する光の効果も、人の注意を引いており、既にギリシャの Hippocrates (ヒポクラテス) は日光浴療法を唱えた位であるが、その後この説を受けついで者にもしつかりした學問的根據を持つたものはなかつた。ただ昔からの傳説的な云い傳えによつて、日光浴を病氣の治療に利用していた位にすぎなかつた。これに對して學問的基礎を確立したのはデンマークの醫學者 Nils Ryberg Finzen (フィンゼン) であつた。Finzen は種々な病氣特に皮膚結核に對する光線療法に没頭したが、同時に下等動物なども使つて純粹な生物學的立場から、光と生物との關係をも研究した。不幸にして 1904 年に 45 歳の若さで夭死したが、その業績は醫學、生物學の兩界にとつて極めて大きな足跡を残したものである。この頃以來、光は醫學的にも生物學的にも、急に大きな研究對象となつて今日まで多くの研究業績が積み上げられた。

さて現代の知識の立場にたつて、光と動物との關係を眺めると、動物に及ぼす外界の光の影響に關する問題と、動物が自ら作りだす光の問題とに大別することができる。そして、このいずれの問題も、化學的立場からも物理學的立場からも取り扱い得るわけである。併し動物と關係ある光の作用は、今のところ化學的立場から研究することが多いから、本書に於いても主としてこの立場から取扱つてゆくことにする。

光に限らず、水でも空氣でも、動物とその環境要素との關係をみてゆく



上に大事なことは、環境と動物との関係が、幾千世代という長年月の間に漸次作り上げられてきたものだということである。このために同じ性質の光でも或る動物には大きな効果を及ぼすのに他の種類の動物には効果がなく、却つて逆効果を示すことさえある。例えば日光のよく照る處にすんでいる動物にとつては、日光が足りないとビタミンDが不足するが、日光の常に足りない深海にすんでいる魚は却つてビタミンDを多量に持っている。このような矛盾性はまた動物の体制の分化の程度によつてもみられる。例えば鳥類、哺乳類では日光が足りないと、ビタミンDの不足が起り易いが、魚類ではそれほど著しくはない。もう一つ大事なことは、光が動物に或る効果を及ぼすか否かを決めるとき、普通の化学実験のように短時間の反応結果だけで、その有無を決することの出来ないものが多い。光で鳥の生殖腺を成熟させるには一箇月の実験を続けなければならない。光の動物に対する効果に関する従來の実験は大抵短時間に終つている。従つて非常に強い光線が使われていることが多い。そのために弱い光線を長時間作用させた場合と、全く逆な結果のでていることが多い。つまり、光の下に動物が健全な生活を営むには、光の強さがその動物にとつて適度でなければならない。そうしてその適度の強さは、動物の種類と環境とによつてそれぞれ異つているわけである。今後の研究は、この立場で行わねばならない。

動物が光の影響を受ける場合には、二つの路があつて、光は皮膚を透して直接に光化学的に作るか、眼に光化学的に作いてそこで神経刺激に作りかえられて体内に作きかけるかである。眼のない動物でも皮膚の中に感光細胞があつてここで光を神経刺激に作りかえる。第6章で述べる光と脳下垂体ホルモンとの関係も光が眼を通じて作る例である。眼を通じ

て体内に作るこのような作用は、今までは割合に閑却されていたが、特に高等動物では今後大きな研究課題となるであろう。

動物の生活には、大きく云えば一年のうち、小さく云えば一日のうち、週期的變化をするものが多い。これらが總て光の影響を受けているとは云えまいが、日光の強さや日照の長短の週期に原因しているものが多い。鳥やイタチの蕃殖が、毎年一定の期節に行われるのも、光の影響である。またザリガニが日中休んでいて夜だけ運動するのも、一種の運動ホルモンの分泌が光で支配されているからである。

こういう週期性を光の立場から分析してゆくことも今後の大きな研究課題である。

次に動物發光に就いては、發光の機構はまだ少しも判つていないと云つてよい。従つてこの方面の研究は今後どこまでも押し進めなければならない。同時に、われわれが一つの夢とし得ることは、多くの動物が可視線を放射している以上、不可視線も放射してはいはないかということである。これに就いてはホタルや發光バクテリアが一種の不可視線を出すことが報告され (Maulik, Dubois) また筋肉組織からN-線の放射されること (Blondlot), 細胞分裂の旺んなあらゆる動物組織から紫外線がでること (Gurwitch のミトゲン線) も報告されたことがあつた。併しこれらは現在のところ、一般の研究者から皆否定されている。化学反應によつて紫外線のような短波長の輻射線がでるためには、この反應は理論的に相當多量なエネルギーを放出するものでなければならない。大抵の有機化合物が酸素で酸化される場合、酸素1g原子の消費に際して生成される熱量は54,000 cal 前後であるのに、紫外線が放出されるためには少くとも71,000 cal が必要である。併しこの理論的推定は一應は参考にな



るとしても、生物発光の機構さえ判明しない現在、これだけで不可視線の問題を片付けてしまうわけにはいかない。例えばオゾンの熱分解に際しては反応熱は71,000 cal以下であるにも拘らず、紫外線がでるからである。とまれ、生物體の不可視線放射の問題は或いはサイレンの歌のようなものであるかも知れないが、何となく諦めきれない問題でもある。洵にNewtonの言葉のように、われわれは自然の前に立つて、餘りに貧弱な人間の知識を省みると共に、底知れぬ自然の深みに驚くばかりである。原子爆弾の發明くらいに思い上ることこそ人類破滅のもとであろう。

## 第2章 光の一般的性質

General character of the light.

1. 光の本體. 普通に光と云えば吾々の眼に感じる可視光線のことであるが、その本體が輻射エネルギーであるという点からすると宇宙線、X線、紫外線、赤外線、電波などの輻射線は皆光と同じ範疇にはいることになる。

輻射エネルギーの本體に就てはFaraday(ファラデー), Maxwell(マックスウェル)などの電磁氣波動説がある。この説では輻射線はエーテル中の電磁氣的振動運動であつて、この電波磁波は互に垂直に、又波の傳播の方向に直角に振動し、その上同一週期、同一傳播速度でもつて電場磁場の變化を傳えてゆくとされている。従つて輻射線の種類によつてその波の振動數と波長とはそれぞれ一定しているわけであり、振動數と波長とは反比例している。

こうした波動説のある一方では、Newtonによつて唱えられた粒子説がある。光を不連続的な粒子の流れであるとするこの説は、波動説によつて一時否定されていたが、近時の量子力學の發達と共にNewtonのこの粒子は量子としての新しい形をとつて復活してきた觀がある。近代の光量子説によると、粒子の形をもつたエネルギー量子は波動として空間中に無限に擴がるものでなくて、一定の空間内を群集して流れ、他の物質に作用すると假定している。又波動説ではエーテルを彈性のあるものと考へているが、この點も量子説では否定して、これを單なる空間として取扱つている。



このように輻射線には波動性、粒子性の二重性が認められ、その何れか一方に決定することは困難なように見受けられた。併し波動力学と量子力学との發達は上の二重性が楯の両面を示すものに外ならないという見解をとることに落ちついてきた。つまり波動性と粒子性との差は人間が輻射線を観測する方法の差に基くものであつて、輻射線の本來の姿は光量子として存在するものであるという考え方である。

2. 輻射線の種類. 紫外線、可視光線、赤外線など輻射線としては多くの種類があつても、これらは何れも電磁波としての、或いは量子としての共通な性質をもつており、その速度も皆1秒につき $3 \times 10^{10}$ cmである。ただその波長と振動数との差によつて第1表のような輻射線の種類が生じてくる。波長( $\lambda$  ヲムダ)と振動数( $\nu$  ヌー)と速度( $C$ )との関係は

$$\nu = \frac{C}{\lambda}$$

である。

波長は輻射線の種類によつて大は $10^8$ km代から小は $10^{-11}$ mm代までに及ぶものがある。便宜上これを云い表わす單位も km, m, cm, mm,  $\mu$  (ミクロン:  $10^{-3}$ mm),  $m\mu$  (ミリミクロン:  $10^{-6}$ mm),  $\text{\AA}$  又は A. u. (オングストローム:  $10^{-7}$ mm) などが用いられている。

生物学で光というと可視光線の他に紫外線と赤外線とを含めていることが多い。これは生物がたいていの場合これら三種類の輻射線から何等かの影響を受けているからである。元より他の種の輻射線からも影響されることもあるが、ここでは取扱はないことにする。

これら三種類の光は波長が異なる點で區別されるが、他の物質や生物に對する作用の點からも區別し得る。即ち波長の長い光である赤外線は熱作用に富み、生物に對しても熱の供給源として作る。逆に波長の短い光

第1表 輻射線の波長と種類

波 長	輻 射 線
6000 km — 50 km	交 流
50 " — 50 m	無 線 電 波
10 m — 2 mm	短ヘルツ電波
310 $\mu$ — 1 $\mu$	長 赤 外 線
1 $\mu$ — 760 $\mu\mu$	短 赤 外 線
760 $\mu\mu$ — 650 $\mu\mu$	赤 可 視 線
650 " — 600 "	橙 "
600 " — 560 "	黄 "
560 " — 530 "	緑 "
530 " — 450 "	青 "
450 " — 395 "	紫 "
3950 $\text{\AA}$ — 2000 $\text{\AA}$	紫・外 線
2000 " — 1200 "	シューマン線
1200 " — 450 "	ライマン線
450 " — 200 "	ミリカン線
660 " — $5.5 \times 10^{-2}$ "	X 線
1.4 " — $2 \times 10^{-2}$ "	ラヂウム $\gamma$ 線
$4 \times 10^{-4}$ " — $6.7 \times 10^{-4}$ "	宇 宙 線

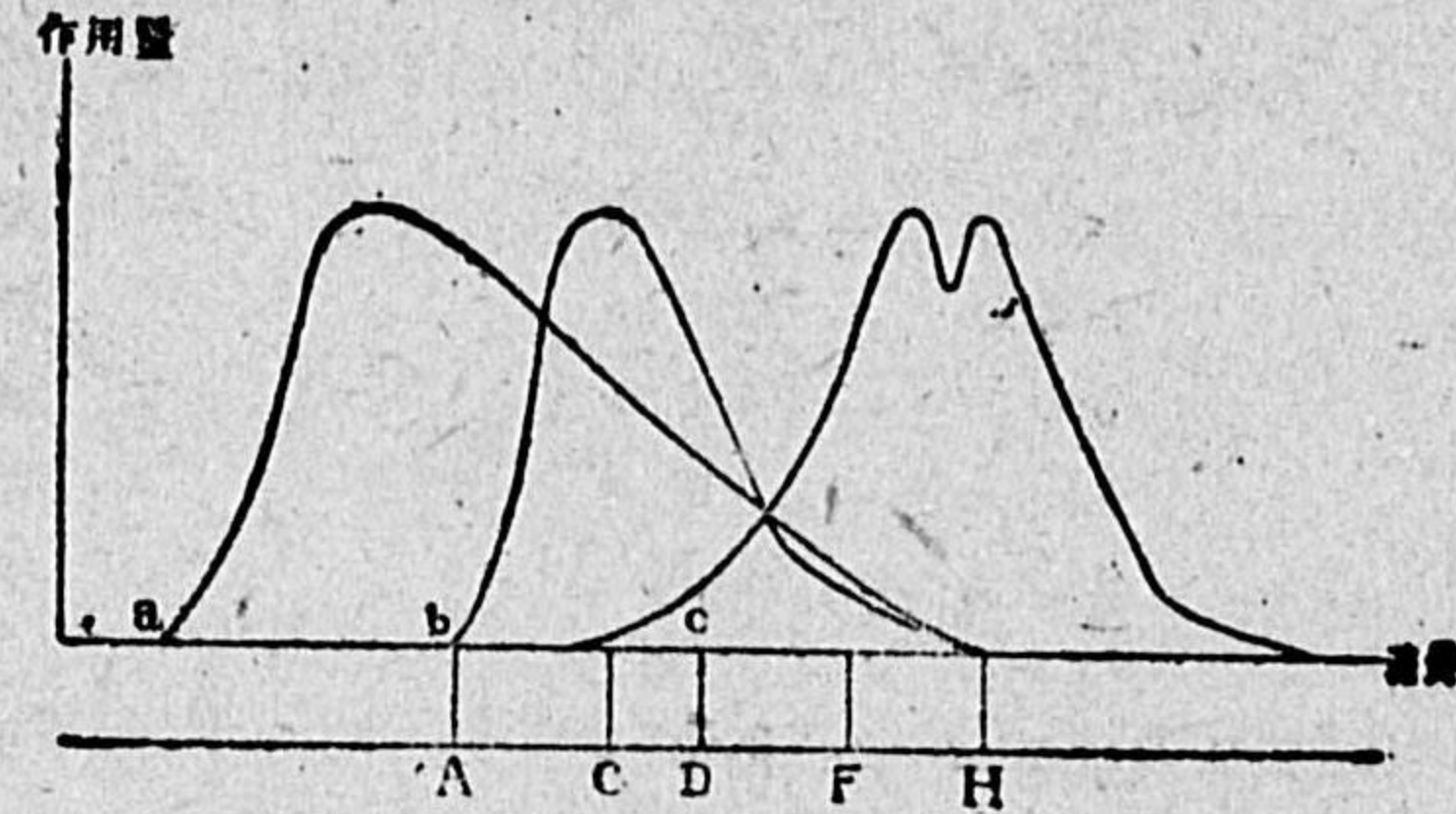
可視線の赤端は $7594 \text{\AA}$ とも $8100 \text{\AA}$ ともせられる。

紫端は $3800 \text{\AA}$ とも $3950 \text{\AA}$ ともせられる。又その間の可視六色光線の區別は人によつて異なる。これは個人によつて眼に感じかたも違ふし、又一色から他色への移りゆきは連続的であるから嚴密な境界線を引こうとするのが無理である。従つて各色の界は便宜上、 Fraunhofer 線 (15 頁参照) を以つて當てることが多い。シューマン線は短紫外線として取扱われることが多い。



である紫外線は、他の物質や生物體に對して、その化學反應を促進させたり、新たな化學反應を起させたりなどして、化學作用的に働きかける。中間の波長を占める可視線は作用的にも上記の二種類の光の中間を占めており、赤黄などは熱線として作すが化學作用は極めて少い。これに反して青紫などの短波長の可視線は化學作用が強い。併し動物に對する可視線的作用は單にこれらの熱線、化學線としての作りに止まるものでなく、眼を感光させて、光のエネルギーを神經刺激に變えるということにもある。尤も眼の感光現象そのものは光の化學作用に基くものである。

第1圖は光の波長とその作用との關係を示したものである。このうち化學作用の曲線はすべての物質に對して當放るわけではない。化學的に作用される物質の種



第1圖 a 光の波長と熱作用量. b 可視量. c 化學作用量. A-H フラウシホーファー線.

類によつて、これに作る光の波長も異なるからである。

3. 光の吸収. 光に限らず他の輻射線でも、これが一つの物質に投射されると反射、吸収、透過の現象がみられる。可視線の場合だと物質の黒白の度は反射光線の多少により、色相の種類はその物質が選擇的に吸収又は反射する光線の波長により、透明度は光の透過度によつて決まる。これらの三現象のうち、生物と光との關係をみてゆくに、最も重要なことは吸収の現象である。

光はエネルギーであるから、光の強さとはそのエネルギーの量である。

光が或る物質に吸収されるということは光のエネルギーがその物質に與えられるということで、吸収されたエネルギーは、他の形のエネルギーとなつてこの物質の仕事を増加させることになる。その反面では光は吸収されただけのエネルギーを失つたことになる。そして一定波長の光が或る均一な物質に投射される場合には、この物質の厚さが算術級数的に増すにつれて、吸収されるエネルギーは幾何級数的に増加する。従つて、透過する光の強さは同じ割合を以つて減少する。

或る波長を有する投射光の強さを  $I_0$  とし、これが厚さ  $d$  の均一層を透過して強さ  $I$  の光に弱まつたとすると

$$-\frac{\partial I}{\partial d} = KI_0, \quad I = I_0 e^{-Kd},$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-Kd} = a^d,$$

$$d = 1 \text{ cm のとき} \quad \frac{I}{I_0} = a$$

であつてこの  $a$  を吸収係数という。

$$\text{また} \quad \frac{\log I_0 - \log I}{d} = a$$

を吸光係数という。

吸収係数、吸光係数のいずれも光の吸収される割合を示す値であつて、一定波長の光と一定の物質との間では一定している。

4. 光の色と物體の色. 太陽の白色光をプリズムで分解して生ずるスペクトルの紫、青、緑、黄、橙、赤の六色は太陽の可視線の色であつて、この六色が合して白色光を形成している。つまり太陽の光線はこれら波長の異なる多数の光線の集合したものである。これに反して花とか羽とかの色は物體色といわれるもので、これはこの物體が白色光の中の一部の光を吸収してその残りの光が反射又は透過されたものである。つまり太陽の

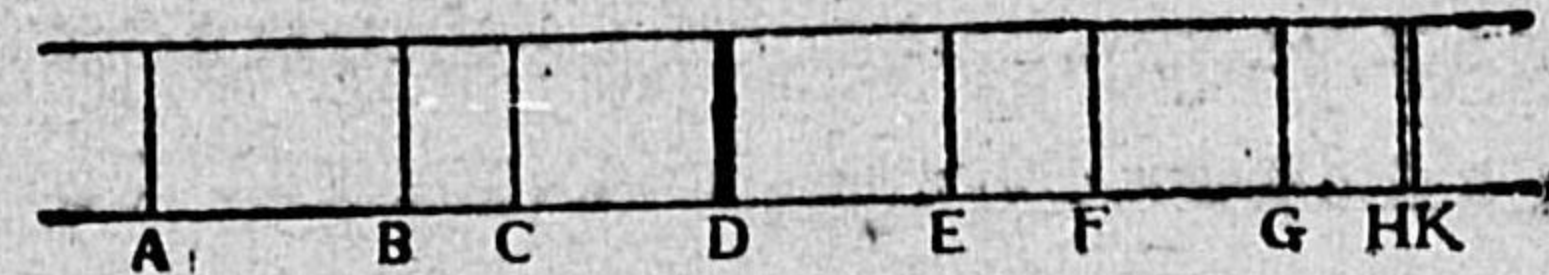


光の中から或る光を吸収して取除いた残りの色光が物體色である。また太陽光線の全部を吸収してしまう物體は黒色であり、全部を反射してしまえば白色である。併し注意すべきは植物の緑色のような現象である。植物の葉は緑と赤との兩色光を反射しているが、緑が強いために人間は赤を感じない。このような例は非常に多い。

或る物質が可視線を吸収するか反射するかはその物體色で大體の見當がつくが、赤外線、紫外線のような不可視線でも實驗してみれば吸収されたり反射されたりしていることが判る。如何なる光が吸収され易いかということは、その波長とこれを吸収する物質とにより、それぞれ異つていて、一般的な法則はたてられない。併し生物體の場合など、極めて大ざつぱに云つて、波長の長い光線は透過し易く、短いものは吸収され易い。元よりこれには例外は多い。またX線は波長の長いもの程吸収され易い。

一つの物質がどの波長の光を吸収するかということを定めるには次の方法をとる。この物質に光を投射して、これから透過してくる光のスペクトルと、投射する前の光のスペクトルとを比較してみる。若しこの物質に光が吸収されて居れば、その吸収された波長に當るスペクトルだけは缺けている。そのために可視線の吸収スペクトルでは、この缺けた部分だけは黒くて色がない。また紫外線や赤外線の場合にはこれを寫真で見分けることができる。第2圖で判るように吸収の跡は線として表われることもあれば、第3圖のように帶狀に相當の幅をもつて表われることもある。前者を吸収線後者を吸収帶という。第2圖は吸収線の例で、太陽光線のスペクトルに表われた Fraunhofer (フラウンホーファー) 線である。これは太陽中心體から出る光が、その周圍の蒸氣層を通過する間に、この層の中にある種々な元素によつて吸収された跡である。太陽ス

ペクトルには4,000本以上の吸収線があるが圖に示したものはその中で太いものだけである。各線とこの波長に當る光線を吸収した元素とは第2表に示してある。



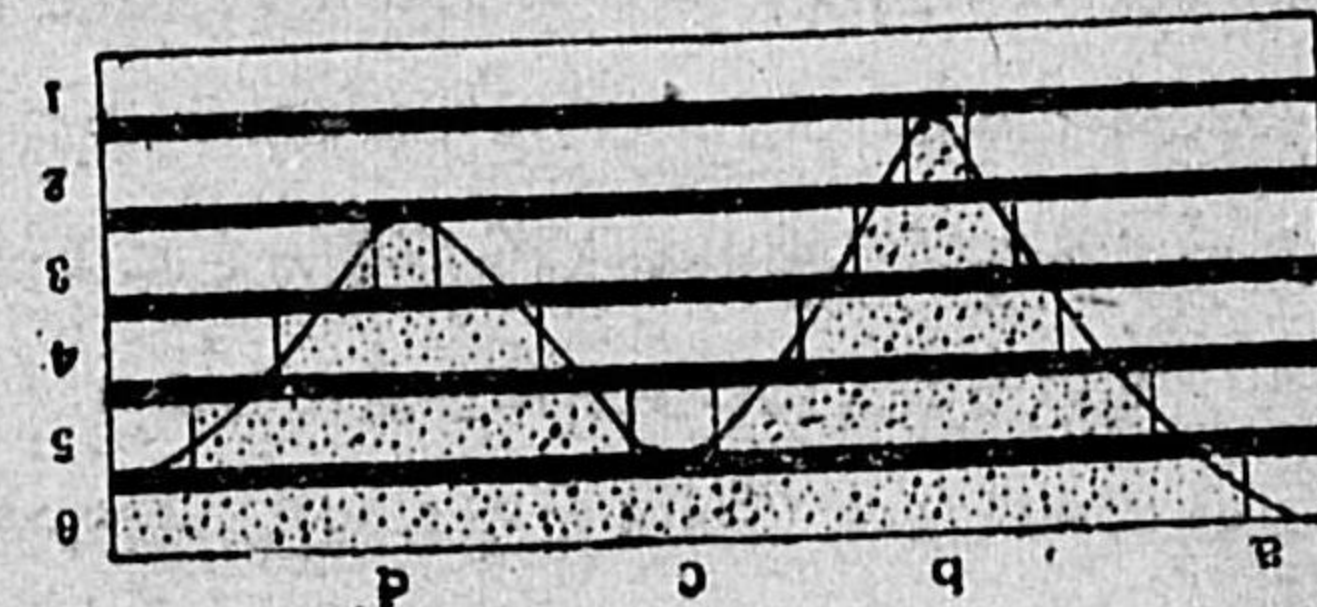
第2圖 フラウンホーファー線

第2表 Fraunhofer 線とこれに相當する元素

線 名	波 長	元 素
A	7593.7Å	O
B	6867.2	O
C	6562.8	H
D <sub>1</sub>	5895.9	Na
D <sub>2</sub>	5890.0	Na
D <sub>3</sub>	5875.7	He
E	5269.5	Fe
F	4861.3	H
G	4307.9	Fe, Ca
H	3968.5	Ca
K	3933.7	Ca

先きにも述べたように、或る物質に吸収される光の量は、この物質の性

質にもよるが、物質の濃度にもよる。従つて濃度が一定であれば、光の通過する物質の厚さの大きいほど多量の光が吸収される。そしてこの吸収



第3圖 帶吸收。1より6に至るに従い測定溶液の厚さを増すと共に吸収帶の幅は大となる。



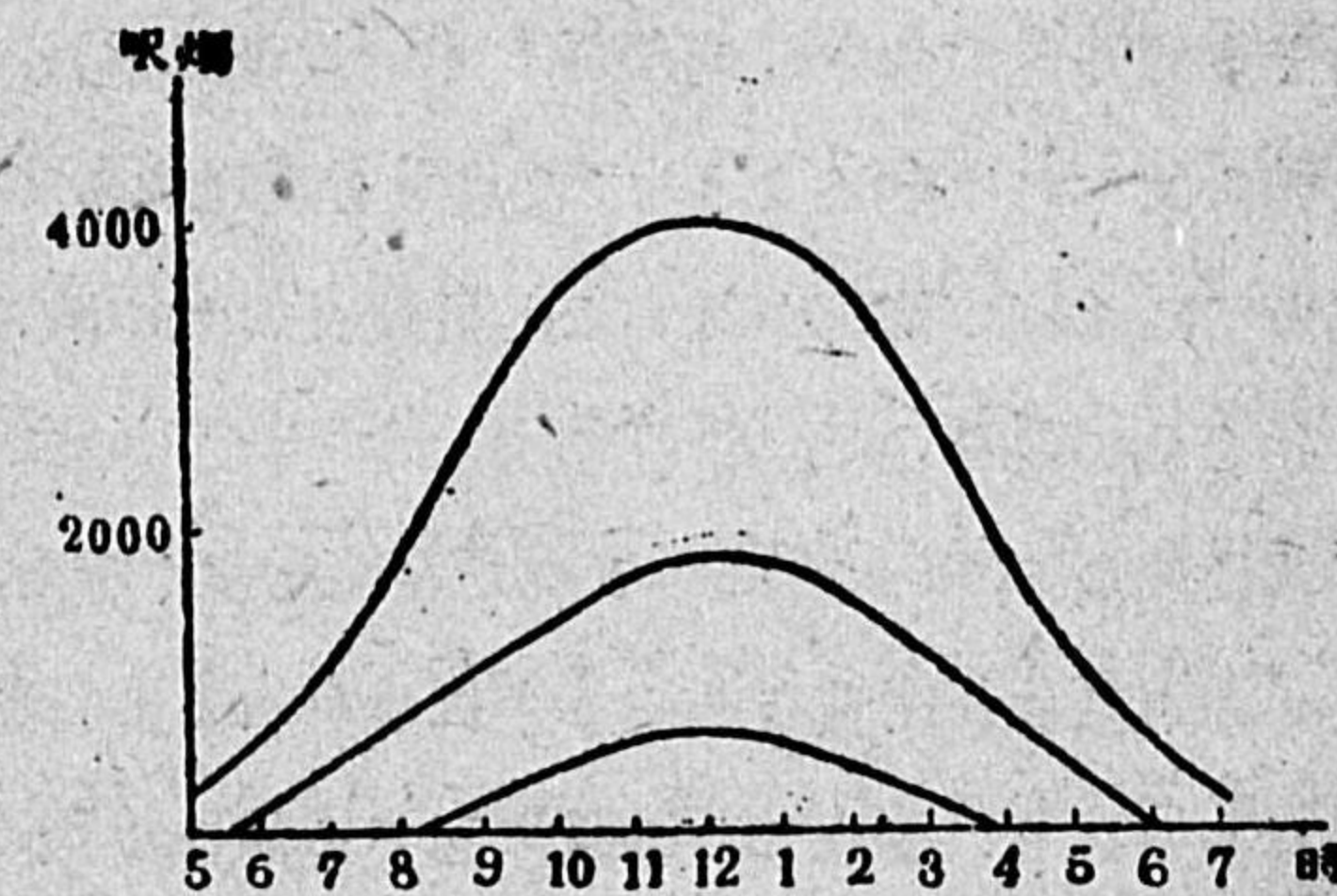
が帯状に表われるものでは、厚さの減るほど吸収帯の幅も小さくなる。いま、いろいろの厚さで吸収帯の寫眞をとつて、これを第3圖に示すように、厚さの順に並べてみると一つの曲線が得られる。この曲線の谷の底bに相當する波長の光が、この物質に最も多量に吸収されているわけである。つまり或る物質について「吸収の極大値は波長いくらの處にある」というのは、bに相當する波長を示しているものである。

5. 大氣の光線吸収. 生物にとつて不可欠な自然光源の光線は太陽である。太陽光線が地上に達して、生物に影響を與えるまでには、地球の表面を取圍む大氣の層を通過しなければならない。この間に光のエネルギーの相當な量が大氣に吸収されてしまう。先ず炭酸ガスを含まない純粋な空氣は  $1838.30\text{\AA}$  以下の波長の光を完全に吸収するといわれている。既に  $1860\text{\AA}$  あたりでもその一部は空氣に吸収されるが、 $1930\text{\AA}$  以上になれば吸収は殆んど認められない。つまり普通には  $2000\text{\AA}$  が空氣によつて吸収されるかされないかの大體の境とされている。ところで地上に到達した太陽光線を調べてみると  $2960\text{\AA}$  以上の波長をもつ紫外線と可視光線と  $30000\text{ m}\mu$  以下の波長を有する赤外線とから成立つている。太陽光線そのものには  $2960\text{\AA}$  以下の短波長の紫外線も含まれていると考えられ、純粋な空氣は  $2000\text{\AA}$  以上の光を透過させるとすれば、 $2000\text{\AA}$  から  $2960\text{\AA}$  に至る間の光は空氣以外の何かによつて吸収されていなければならない。これは空氣中の水滴、塵埃などによつても吸収され、わけても地上  $40\text{ km}$  以上の大氣の上層に多量にあるオゾンによつて吸収される。オゾンは  $2000\text{\AA}$  から  $2900\text{\AA}$  に至る波長の紫外線を吸収し、 $2550\text{\AA}$  のところに吸収の最大値を示してゐる。尤もオゾンが多量にあるといつても、これを一氣壓に換算すると大氣中の全オゾンは  $3\text{ mm}$  の厚さにしか相當し

ないし、特に地表に近い空氣中には極めて微量にしかない。併し、上述の波長の紫外線を全部吸収するにはこの程度の量で十分である。そして大氣の上層では  $2000\text{\AA}$  以下の日光紫外線で酸素からオゾンが作られ、 $9.5\mu$  の日光赤外線でも再び分解されて常に一定量のオゾンが大氣の上層に保たれているという。

いままで述べたのは或る波長の光が大氣の層で完全に吸収されることであつたが、地表に達することのできる波長の光でも、その強さ即ちそのエネルギーは大氣層を通過する間に著しく弱められている。これは大氣によつて光の一部が吸収されるほかに、酸素・窒素の分子や水滴・塵埃などの小粒子によつて光が擴散されることが大きな原因である。吸収、擴散の何れにしても光が大氣層を通過する徑路の長いほどそのエネルギーの消失量は大きいわけである。従つて同じ地表といつても海拔の高さにより、また太陽の仰角の大小即ち四季と一日中での時間との相違によつて光の減少度も異つてくる。今太陽が頭上にあつて光は直角に地表に投射されている時即ち仰角  $90^\circ$  のときの大氣層の厚さを1とすれば  $30^\circ$  の

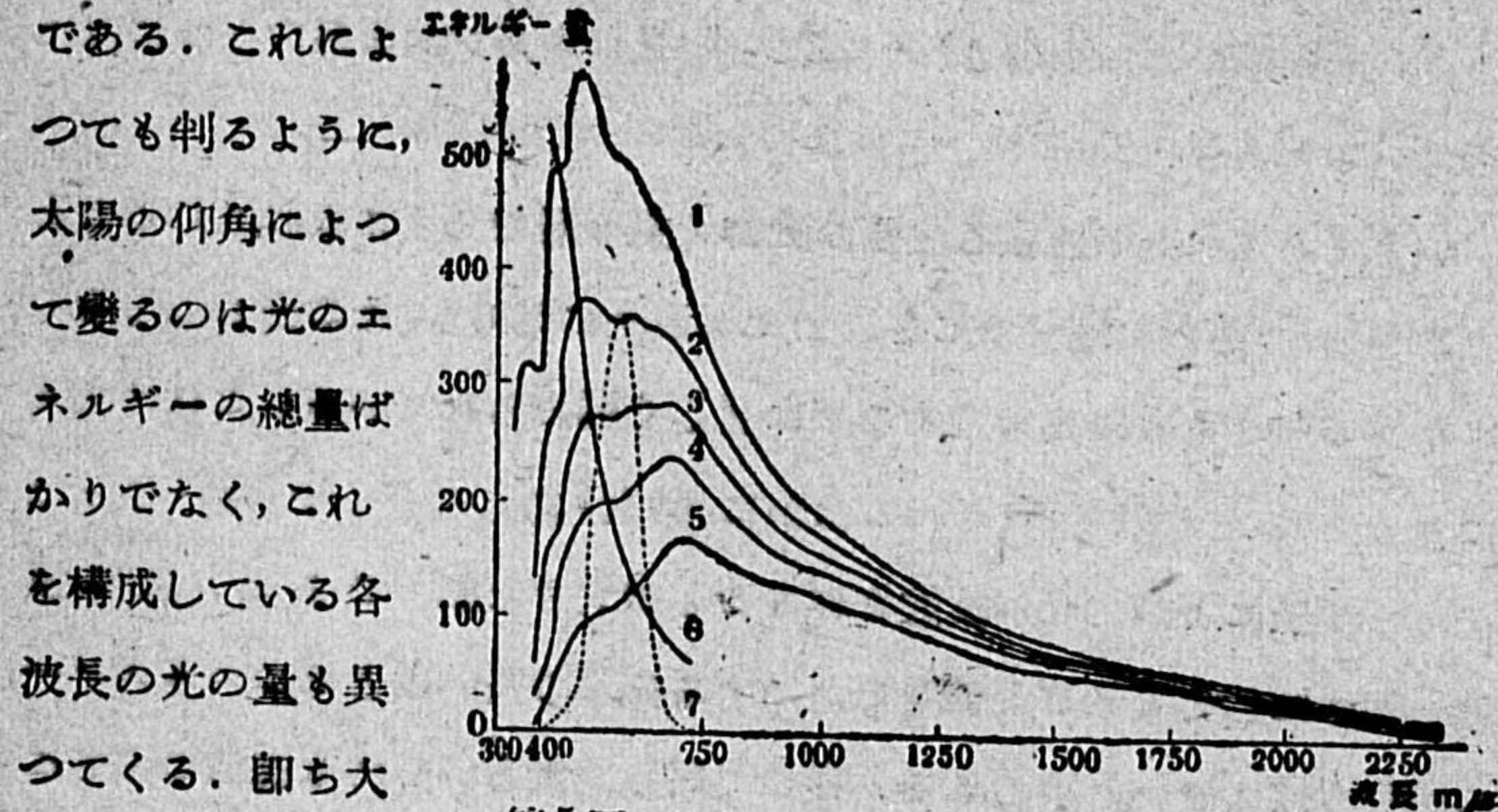
ときは1.995、 $20^\circ$  のときは2.904、 $10^\circ$  のときは5.600となる。従つて北半球の同一經度の處では、夏の正午の高山が最も多量の光に恵まれ、冬の朝夕の低地が最も少量の光を與えられることになる。



第4圖 四季と太陽光線照度(有賀)  
上 夏、中 春秋分、下 冬。



海拔 3000 m の高山での光のエネルギーは大気圏外のそれに比べ 80% に減り、1500m では 80% に、低地で湿度の高いときには 15% に減る。また太陽の仰角によつての光のエネルギーの減りかたは第 5 圖に示す通りである。これによ



第 5 圖 日光のエネルギー曲線 (Kimball)  
 1 大気圏外. 2-5 地表 (太陽高度 2: 65°; 3: 30°; 4: 19.3°; 5: 11.3°). 6 天空光線. 7 人間の眼の感度.

つても判るように、太陽の仰角によつて變るのは光のエネルギーの總量ばかりでなく、これを構成している各波長の光の量も異つてくる。即ち大氣の圏外では光の全量の 43% が赤外線, 52% が可視線, 5% が紫外線である。地表では中等度の太陽の高さのとき赤外線が 60%, 可視線が 40%, 紫外線は 1% である。第 5 圖の各曲線を比べれば判るように、大氣中を通過する光の徑路が長いほど、即ち地表では太陽の仰角が低いほど短波長の光の減りかたが大きく、また光の最も強い部分は長い波長の方にずれている。大氣の圏外での光の最強部は波長 470m $\mu$  邊にあるので太陽は青く見え、地表では太陽の仰角の低くなるにつれて黄色から赤色にずれてくる。朝日・夕日の赤いのはこのためである。また光の總量に対する紫外線量の比は高地ほど大きいから、高地での仰角の低い光は、低地のそれに比べてその含む紫外線の割合が大きい。従つて高地では仰角 10° の太陽は低地でのように赤色でなく

明黄色であり、正午頃の太陽は白色にみえる。

いままで述べてきたことは太陽から地上に直接に到達する光線に就いてであつたが、大氣層の中にある光はこれだけではない。上にも述べたように、太陽光線の一部は大氣層を通過する間に、その中に含まれている空気の分子や水滴・塵埃などによつて擴散されて偏光性を帯びてくる。この擴散光を太陽光線に對して天空光線と云つてゐる。つまり生物が影響を受けている自然光線は直接の太陽光線と間接の天空光線とから成り立つてゐる。晴天の高山での自然光線の全量に對する天空光線の量の割合は

太陽の仰角	0°	46%
	20°	34%
	40°	31%
	60°	29%

である。

擴散の現象は、透明な媒體の中にこれと異つた屈折率をもつ微粒子が浮いている處へ光が來たときに起る。つまり大部分の光はこの透明體を通過するが、その一部分は微粒子に反射されて、擴散されてしまふ。若し微粒子が非常に小さいと青色線・紫色線が擴散されて平面偏光になり、その振動方向は入射光の方向と直角である。空の青色なのは煙草の紫煙と同じく擴散光のためである。つまり微粒子の大きさが波長の程度のものであれば波長の短い光線ほど擴散される分量が多い。可視線の中では赤黄側よりも紫青側の方が擴散され易く、可視線よりも紫外線の方が擴散され易い。このことから大氣の上層では可なりな量の紫外線が擴散されていることが考えられ、また寫眞實驗で確かめられている。地表に到



達する紫外線の量が極めて少ない原因は、大気によつて吸収されるばかりでなく、このように拡散されているからである。

地表の明るさを支配する光には太陽の直接光線と天空光線との他に、これらの光線が地表で反射される反射光線も含まれている。特に積雪の場合にこの反射光線の影響が大きいことは誰しも経験していることである。後に述べるように動物にはこの地表の反射光線に対して敏感な反応を示すものが多く、光と動物との関係を考える場合、この反射光線は重要な要素である。

6. 水の光線吸収. 動物の体重の80%は水である点からも、また水中に生活する動物も多い点からも、光が水から受ける影響は動物と光との関係をみてゆく上に重要なことである。

水が各波長の光を吸収する割合は第3表に示されている。これで見ると水が最も吸収しにくい光は波長4870Åである。深い水が青く見えるのはこのためである。尤も池沼や海の色はこの中に含まれている種々な微粒子の性質と量とによつて大きな変化を受けていることが多い。またこの表から判る重要なことは、4870Åを境にして、これより紫外部の方に向う方が赤外部に向う方よりも吸収度が小さいことである。つまり水は紫外線よりも赤外線を吸収し易い。従つて水の中にある物質は化学線としての紫外線の影響も受け易いが、熱線としての赤外

第3表 水の吸収する光の分量 (Kreusler, Ewan, Asschkinas, Nicols による)

波長 Å	吸収係数 $\alpha$
1860	0.06884
2000	0.00899
2400	0.00316
3000 紫外	0.00151
4150 紫	0.00035
4500 青紫	0.0002
4870 青	0.0001
5500 緑	0.0003
6000 黄	0.0016
6500 橙	0.0025
7790 赤外	0.272
9450	0.538

線によつて温められた水の温度の影響も受け易いことになる。

水面に投射された光の全エネルギーを100とすると1mの深さでは20となり、4mでは1となる。併し可視線だけによる明るさ、即ち光度を測つてみると1mで50、4mで80、10mで10、100mで1、400~500mでは人間の眼には暗黒である。鋭敏な感光板を海中に入れて光線の種類を検べてみると、既に10mの深さで赤光はこの深さに到達している全光線の2%しかないが紫光は7.5%もある。つまり深い處ほど光全体としての量が減るが、その中でも長波長の光線の占める割合が少くなり、短波長の占める割合が多くなる。この関係は第3表からも考えられることである。こうして深さの進むにつれて光の量は減つてゆくが500mでは人間の眼に感じない程度に微量な青色光が、1000mでは微量な紫外線が検出されている。また1700mでは現在の感光板に感じる光は認められていない。植物は400~500m以下の深海には生活し得ないが、動物には後に述べるように5000m以下でも生活しているものが多い。

また深海に於ける晝の時間を、感光板を用いて測つてみると、水面よりは著しく短い。水面で10.5時間日が照つているとき、20mの深さでは、明るい時は7時間で、そのうち光の強い間は1.5時間しかない。40mの深さでは明るい時は1時間位しかなく日中も殆んど暗にひとしい薄暗さである。

7. ガラスの光線吸収. 動物に関する精密な実験をする場合にはガラス器具を使うことが多いので、ガラスが光に及ぼす影響を知つておく必要がある。ガラスが無色透明であるとは人間の眼に感じる光を全部透過させるということであつて、不可視線まで透過させるとは限らない。殊に紫外線は波長の短いものほど著しく吸収される。厳密に云えば多くの



ガラスは可視線も微量ながら吸収しているのであるが、それが微量のため人間の眼に感じられないだけのことである。光がガラスに吸収される場合にも、その厚さと構成物質の種類とによつて、吸収度の異なることは他の場合と同じである。

第4、第5表に示すように普通のガラスは、3100Å以下の波長の紫外線

第4表 無色透明ガラス(厚さ1cm)の吸収率(%) (Pflügerによる)

ガラスの種類	波 長 Å				
	3570	3880	4150	5000	6400
硼 硅 クラウン	4.7	2.5	1.2	0.7	0.5
最重バリタクラウン	35.0	9.8	5.2	2.5	1.6
望遠鏡用フリント	49.0	30.0	12.0	0.7	0.7
バリタ軽フリント	18.0	8.6	2.5	0.9	0.5

第5表 普通窓ガラス(厚さ2mm)の吸収率(%) (山田による)

波 長 Å	3000	3100	3200	3400	3500
吸 收 率 (%)	100	100	93	56	40

を完全に吸収してしまう。ところで紫外線の中でも人間の健康保持に特に大きな役目をするのは2900—3100Åに互るもので、活力線と呼ばれている。ドイツのウピオルガラス、イギリスのバイタガラスは、この部の紫外線を透過させる目的で作られたものである。室内にも十分な紫外線を供給するために、窓ガラス、温室用ガラスなどとして用いられている。併しこれらの特別なガラスも、紫外線を完全に透過させるわけではなく、厚さ2mmのウピオル硝子は2900Åの光を41%、3100Åのものを74%透過させる。0.13mmの厚さのものを透過する光の最短波長は2530Åであ

り、同じ厚さのバイタガラスでは2730Åである。

波長の短い紫外線を透過させる透明固体には螢石、水晶、熔融水晶、方解石、岩鹽などがある。そのうち螢石のよいものは紫外線に対して、最も透明な固体であつて2mmの厚さで1250Åまでの紫外線を通すものがある。尤も螢石のこの透過度はその品質によつて著しく差があり水晶に及ばないものも多い。

水晶は螢石に次ぐよい透明度をもつているが、これも結晶の品質によりいろいろの段階がある。また光が結晶の光軸と平行に進むときの方が軸と直角に進むときよりも透過度はよい。よい品質であれば厚さ0.2mmで1450Å以上の紫外線を、厚さ2mmで1500Å以上を20mmで1600Å以上を透過させる。併し分光器のプリズムなどに用いられる場合にはかなりの厚さになるから2000Å以上のものにしか使えない。従つて2000Å以下のものの研究には螢石のプリズムが用いられる。

紫外線に関する実験をするとき、これに用いる器具、容器には熔融水晶で作られたものが多い。熔融水晶は融解点こそ高いがガラスのように板にでも管にでも思う通りの形に細工をすることができる。石英水銀燈もこれで作られたものである。熔融水晶の紫外線に対する透過度も、その材料となる水晶の品質によつて異なるが、よいものでは10mmの厚さで1860Å、1mmで1849Åまでを透過させることができる。いずれにしても熔融水晶は結晶水晶よりも透過度は少し悪い。

8. 人工光源。生物にとつての自然光源は太陽であるが、上節にも述べたように太陽光線が大気層を通つて地上に到達したときには、波長2960—30000Åの間の光線しか含んでいない。この両側の紫外線、赤外線が生物に及ぼす影響を研究するためにも、またこの間の光線について精密な



実験をするためにも、いろいろな人工光源が用いられている。

赤外線的光源としては、炭素電弧、Auger (アウエル) 燈, Nernst (ネルンスト) 燈などの赤外部が利用される。また 900 m $\mu$  代までの短波長赤外線的光源には水銀石英燈の赤外部が用いられる。

可視線の光源としては炭素電弧、ガス(窒素・アルゴンなど)入りタングステン電球などが用いられる。

紫外線的光源としては水銀蒸気燈、鐵電弧、亜鉛火花などが一般に用いられる。わけても水銀石英燈は取扱いに便利ばかりでなく、光の強さが不変であり、紫外線に富むなどの長所がある。近年治療上にも旺んに用いられるため、その目的のためにも種々なる型の水銀石英燈が考案されている。

9. 単色光. 太陽光線にしる、種々なる人工光源の光にしる、大抵の光が異つた波長の多數の光から成立つてゐることは、これを分光して、そのスペクトルをみれば判る。併しわれわれは研究の必要上から一定の波長だけの光即ち単色光を取りだしたいことがある。そのためには一旦スペクトルに分散させて、その中で必要な光だけを細隙から通過させる方法がある。この方法では波長は正確になるが、光の強さが小さくて、他物に対する光の影響をみる場合などには不適當なことが多い。この缺點を除くために第二の方法として、分散させない光を濾光障を通過させて、不要な波長の光を吸収させる仕方がある。この方法では光の強さは保てるが特別の例を除いては一つ波長だけを取り出すことは困難である。つまりこの方法で取り出された光は幾  $\text{\AA}$  かの幅をもつた光である。例えばニトロソ・チメチールアニリンは 5000—3900  $\text{\AA}$  の光を吸収し、3900—2000  $\text{\AA}$  の紫外線を透過する。この溶液又はこれで染色したゼラチンで濾光すれ

ば、この間の紫外線だけが得られる。また理化学研究所で考えられた、ウルトラチン濾光障は紫外線だけを吸収する。またコバルト青色ガラスと重クロム酸の稀薄溶液とを組合せた濾光障を使えば赤外線だけを取り出すことができる。併しこれらの取出された光は何れも相當な幅をもつたものである。この幅を狭ばめてゆくためには、適當な光線と、何種類かの濾光障を同時に使つて適當な組合せをすることが行われる。そのためにツェイス會社、イーストマン・コダック會社などから種々な濾光障の組合せが発賣されている。

10. 發光の種類. いままで述べてきたことは波長を中心にしての光の性質であつたが、光はまたその發光の原因という立場からもみることが出来る。ある物質が發光しているのは、この物質が持つてゐる過剰エネルギーを光子として放散している現象である。光子のエネルギーは熱エネルギー、ラヂウムの輻射エネルギー、電氣エネルギー、化學反應に伴う過剰エネルギーなど種々なる他の形のエネルギーから誘導することができる。

一般に發光の種類を熱發光とルミネッセンスとに別けるが、後者は熱エネルギー以外のエネルギーから誘導された光子の放散を總稱したものである。従つてルミネッセンスは無熱的であり、その光は冷光と呼ばれている。

ある物質が熱してくると、初めは單に波長の長い熱線を放散しているにすぎないが、温度が一定程度以上になると、この熱エネルギーの一部は光のエネルギーとなつて發光してくる。これを灼熱發光と呼び、太陽をはじめ、多くの人工光源の光はこの型である。一つの物質の發光し得る温度はその物質によつて異なるが、大抵のものは 525° 内外で赤色に發光し始



め、灼熱度の上るほど光力も強くなり白紫色となる。つまり温度が高くなるほど短波長の光がでる。蠟燭や油が燃えるとき光のでるのは、不完全燃焼のために炭素の微粒子が飛びだし、これが灼熱されて発光するからである。尤もこの焰の一部では他のガスも発光している。太陽は5000—7000°の高温を有するフォトスフィアと呼ぶ中心體と、これより低温でこの中心體を取圍むクロモスフィアと呼ぶ蒸氣層からできていると云われる。太陽の光はこの高温な灼熱中心體からでている。

ルミネッセンスには螢光、燐光、化學發光、摩擦發光などがある。螢光は或る光が一つの物質に吸収された場合に、この光のエネルギーが波長のちがった光のエネルギーとして、再び放散されるために起る發光である。燐光は螢光の一種であるが、螢光ではその原因となる刺戟光が、螢光性物質に與えられている間だけ發光しているのに、燐光はこの刺戟光を取去つても尙一定時間發光している。螢光と呼ばれるものでも刺戟光を取去つた後で極めて短時間は發光しているものがある。螢光と燐光との區別は單にこの時間の長短であつて、本質的區別はつけにくい。燐光・螢光の刺戟エネルギーが紫外線や可視線である場合はこの二つを總稱して光發光と云つている。併し陰極線、陽極線、X線、ラヂウム線などの輻射線も燐光の刺戟光となり得る。例えばラヂウム線によつて、硫化亜鉛は黄綠色に、タングステン酸カルシウムは青綠色に、燐酸カルシウムは綠色に發光する。時計の文字板などに用いられる夜光塗料はこれである。また燐光の一種に熱發光と云われるものがある。例えばダイヤモンドや螢石を少し温めると發光する。その他、大理石、水晶などでもこの現象がみられる。併しこれらの礦物を豫め長時間暗所においておくと、温めても光らない。逆に豫め光に當てておいてから温めれば光るといふことは、

温めたために燐光が人間の眼に感じるほど強くなつたことを示すものである。熱發光の著しい例はバリウム青化白金の場合である。これを液體空氣の温度でX線にあてた後に温めると、時間と共に順次に綠、黄綠、赤褐、淡綠、淡赤褐、暗赤褐の六段階の光をだす。

化學發光は化學反應に伴つて出る過剰エネルギーが光量子として放出される發光現象で、發光生物の發光現象は皆この例である。

摩擦發光は蔗糖の結晶を摩擦したり、押しつぶしたりする時起るような發光で、摩擦などによつて生ずる過剰の機械的エネルギーが光量子として放散されるのに基く。この種の發光は古來ダイヤモンド、氷などでも知られている。硝酸ウラニウムの結晶を試験管中で振つて起る光はこの發光の最もよい例である。その他乳糖、サッカリン、マンニット、アスパラギン、L-林檎酸などの結晶もこの發光をする。

結晶發光は硫酸カリウムが溶液から結晶するとき起るような發光である。鹽化ナトリウムや鹽化カリウムの飽和水溶液にアルコールを加えると、これらの鹽は急に結晶してくるが、この時にも強い發光が起る。

電氣發光は放電に原因する發光であつて、この放電は空氣中で行われてもよいが、特に低壓の氣體中で行われるとよく發光する。既に1675年にPicard(ピカール)は水銀氣壓計を持ち運ぶときに、その水銀柱の上部に残されたTorricelli(トリチェリ)の眞空部が光ることを報告している。これは氣壓計を持ち運ぶとき水銀がゆれて硝子と摩擦するために起る電氣が、眞空中に残つた低壓のガス中に放電されるために起る光である。この型の發光を鮮かに示すのは、一滴の水銀と低壓のネオンガスとを封じこんだ硝子管である。この硝子管内の水銀滴をころがらすと著しい光がでる。絹や毛皮を摩擦したり、打つたりする時の發光もこの型で



ある。又絆創膏のテープや電気用の絶縁テープを巻いたものを急にひきはがす時に出る光もこの型である。

音発光はグリセリン、ニトロベンゾール、水などの液體の中を、強い音波が通過するとき起る發光である。

白熾發光は酸化亜鉛が熱してくると、温度は餘り上らないのに白熱して短波長の光をだすような發光である。一般の灼熱發光では短波長の光をだすにはその物質の温度が非常に高くなければならないのに、白熾發光では低温でもこれを出することができる。この點から上の現象は熱を伴いながらも一種のルミネッセンスとされている。

焰發光はブンゼン燈の焰の中に、ナトリウムを入れると黄色に、リチウムなら赤色に、銅なら青綠色に光るやうな發光である。二硫化炭素の焰が低温にも拘わらず紫外線に富んでいるのもこの型の發光である。

以上に挙げた種々なルミネッセンスの中で、生物と關係の深いのは化學發光と螢光である。これらに就いては後に詳述することとする。

### 第 3 章 光 の 化 學 作 用

Chemical function of the light.

1. 熱的吸収と光化學的吸収. 光が或る物質群に投射されると、これらの物質間に新たな化學反應を起させたり、又は既に進行しつつある化學反應を促進させたりすることがある。この現象を光の化學作用と云い、また光の賦活作用とも活性化作用とも呼んでいる。或る物質が活性化されるとは、この物質の分子が光量子を吸収した結果、その原子價電子に移動が起り、原子間の結合が弱わめられて、分子としての安定度を減じてくるために、自身で變化したり、他の分子と作用したりし易くなることである。ところでアインシュタインの假説によると、一分子が一量子を吸収するから、賦活された分子數は吸収された量子數に等しい<sup>1)</sup>。このときのエネルギーは  $e=hf$  で表わされる。h はプランクの恒數で毎秒  $6.57 \times 10^{-27}$  エルグであり、 $\nu$  は振動數である。こうして物質に吸収された量子數が大きい程この賦活作用も大きいわけであるから振動數の大きい光即ち波長の短いもの程、賦活作用が大きいわけである。紫外線が化學線と云われるのはこのためである。

このように、光が一つの化學反應系を活性化するためには、この光はこの反應系に吸収されるものでなければならない。換言すれば、或る反應系に吸収された光だけが、この反應系に作き得る。このことはこれを初

1) 一分子に一量子が光化學的に吸収されるというアインシュタインの假説は必ずしも、總ての場合に當てはまらない。例えば、過酸化水素の光化學的分解の際には、一量子で80個の過酸化水素分子を分解する。



めて唱えた人々の名にちなんで Grotthus-Draper (グロトス・ドレーパー) の法則と云われている。

また Bunsen (ブンゼン) と Roscoe (ロスコー) とは、光の作用の下で水素と塩素とから塩化水素のできるとき、生成された HCl の量は、作用した光の強さと時間との相乗積に比例することを実験的に確めた。これによつて、光の強さとその作用時間との相乗積が一定ならば、一つの反応系に対する光化学的効果は同じであるという法則が立てられたわけで、これを Bunsen-Roscoe の法則という。この法則は Grotthus-Draper の法則を裏付けるものである。

併しここに問題となるのは、反応系に吸収された光のエネルギーの全部が光化学的に使用されるかということである。

具體的實例からはいると、純粋な塩素を青色光で照したときには、吸収された光のエネルギーは皆熱となり塩素は活性化されない。これに反して塩素と水素とを混合したものに同じ光を與えると、塩素の吸収する光の量は前の場合と同じであるが、塩素は活性化されて水素と化合し得るようになる。つまりこのときは吸収された光のエネルギーの少くとも一部は塩素の活性化即ち光化学的エネルギーとして利用されている。このことから一つの物質に吸収された光は、熱エネルギーにも、光化学的エネルギーにもなり得ることが判る。

ところで、或る光が一つの化学反応に対してどの程度に化学的に働き得たかということは、この光の量と、そのとき化学變化した物質の量との比で表わすことができる。この比を光化学的攝取率とか感光度とか云っている。この場合活性化された物質に吸収された光だけが光化学的に利用されたわけであるから、若し吸収された光のエネルギーの全部が、光化

学的に利用されたのであれば、この物質の吸収スペクトルの極大値と感光度の極大値とは一致しなければならない。ところが実際には一致しないことが多い。これは吸収された光のエネルギーの一部は光化学的に使われるが、一部は熱エネルギーとなつているためである。

2. 發エネルギー反応と吸エネルギー反応. Helmholtz (ヘルムホルツ) は光化学反応を二つに大別することを提唱した。その第一は光はなくても化学變化は起つているのであるが、光を吸収すれば、變化の速度が大きくなる反応である。つまり光はこの化学變化の速度を大きくする即ち促進するに止まつて、光のために新しい反応が起るのではない。第二は光のあるとき初めて起る化学變化であつて、これは光によつて新たに起される反応である。

この第一の化学反応は、この反応系が光と無關係に初めから自身の中に持つているエネルギーによつて起つているものである。それが反応速度を早めるためには、更に多量のエネルギーを必要とするが、このエネルギーも反応系自身が供給することができる。ところでこの反応速度が光によつて早められるのは、反応系自身のもつているエネルギーの上に、更に光のエネルギーが加わるためである。つまりこの時の光のエネルギーの働き方は、反応系自身のもつている化学エネルギーを出し易くさせるといふことになる。従つてこの反応系に與えられた光のエネルギーは、その作用の途中ではどのように使われようと差引き總計的には増減なく結局熱エネルギーとして放出されてしまう。この點で光のこの働き方は觸媒の働き方に似ており、この光化学反応を發エネルギー反応と呼んでいる。可視線によつて起る反応は大抵この型のものである。

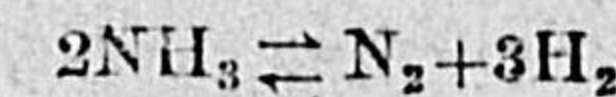
Helmholtz の第二の反応では、反応系は初めには化学反応エネルギー



を持つていない。光の化学エネルギーを興えられて即ち光を吸収して初めて起り得る反応であつて、吸エネルギー反応と呼ばれる。可視線による鹽化銀・臭化銀の變化、紫外線による酸素からオゾンへの變化などはこの型の反応である。

發エネルギー反応にしても、吸エネルギー反応にしても、光が反應物質の分子を活性化して、これを變化させたり、他の分子と作り易くさせたりすることは同じである。従つて發エネルギー反応に於ても、光のエネルギーによつて活性化される段階は吸エネルギー的であると云わねばならない。併し活性化された分子が反應する段階では發エネルギー的であつて、兩者の差引き總和は發エネルギー的である。

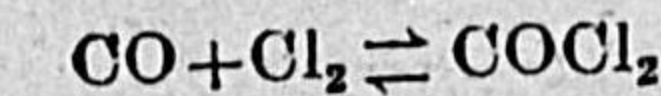
アムモニヤは紫外線によつて分解されて窒素と水素とになるが、このとき純粹なアムモニヤガスを使うと、



その分解物である ( $\text{N}_2 + 3\text{H}_2$ ) が全體の 1.2% になつたときに、平衡に近づく。これは發エネルギー反応である。次ぎに  $\text{NH}_3$  と ( $\text{N}_2 + 3\text{H}_2$ ) とを 50% まで含む混合物を使うと、アムモニヤが分解されることは第一の場合と同じであるが反應は平衡から遠ざかつてゆく。これは吸エネルギー反応である。併しいずれの場合でも吸収された光のエネルギー量と分解されたアムモニヤ量との比は同じである。つまり發エネルギー反応と云い、吸エネルギー反応と云い、反應系としてのエネルギーの増減の仕方は異つても、光化学變化の量は吸収した光のエネルギーの量に依存することに變りはない。

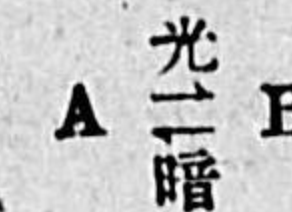
3. 光と觸媒. 上にも述べたように、發エネルギー反応での光のエネルギーの利用され方は觸媒のそれと似ている處があり、そのためこの反應

を接觸反應とさへ呼んでいる。併し光と觸媒とは根本的な差がある。觸媒はその介在する化学反應系に對して、新たなエネルギーを供給することはできない。従つて一つの可逆反應に對して、その正逆兩反應の速度を早めることはできても、化学平衡そのものを動かすことはできない。光はこれに反して、エネルギーを外部から供給する。従つて多くの場合、可逆反應の一方の速度を早めるが、逆反應は促進しない。また暗所で保たれている化学平衡を動かすことができる。尤も高温度の下で行われるフオスゲンの光合成のように



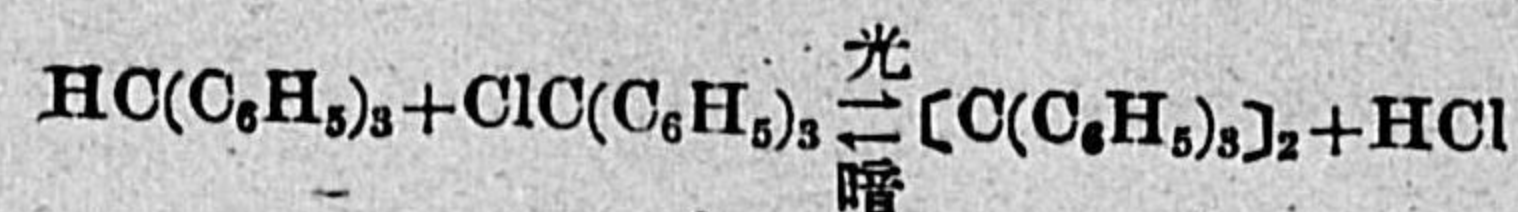
同じ波長の光が正逆兩反應の速度を共に促進することがある。併しこの場合の正逆兩反應は暗所でも既に起つていゝもので、光はこの平衡状態を見掛上變えずに、その反應速度だけを促進するように作いてゐるにすぎない。實際にはこの正逆兩反應に對して別々の觸媒が光によつて作られて、この觸媒によつて兩反應が促進されるものらしく、この促進作用は光の直接作用とは考えられない。ここで注意すべきことは、光化学的反應でみられる平衡状態は、たとい正逆兩反應の速度が等しくても、普通の化学平衡とは異つていゝことである。光化学的平衡は光の作用の下でだけ保たれているもので、光を取り去れば平衡は移動して、眞の化学平衡に達する。従つて光化学的平衡には普通の化学平衡と異つて、質量作用の法則を適用することができない。

光化学的可逆反應には次の三種類がある。第一は、正逆兩反應のうち、一方だけが光化学的であつて、他は暗所で光の影響がなくても起つていゝものである。

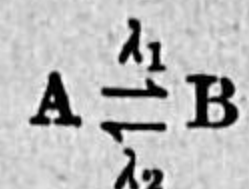




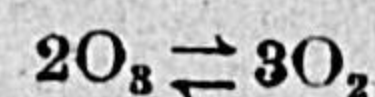
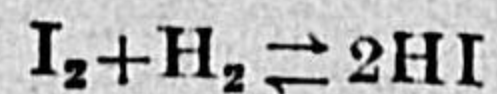
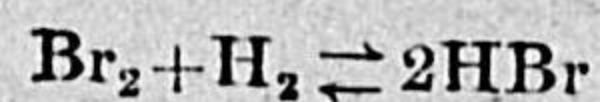
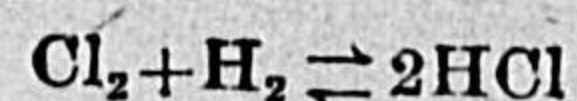
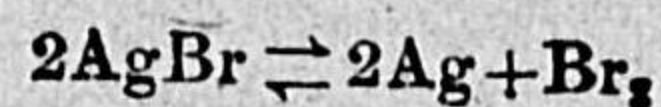
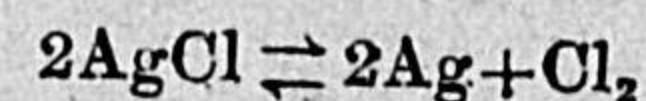
トリフェニール・メタンとトリフェニール・クロールメタンとは光の下でトリフェニール・メチルを生じるが、暗所ではその逆反応が起る。



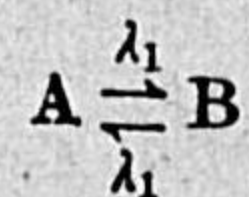
第二は正逆両反応共に光化学的であるが、光の波長が異つてゐるものである。



この型の反応には次のようなものがある。



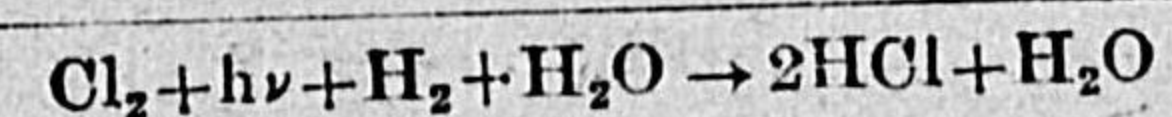
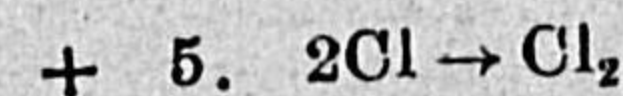
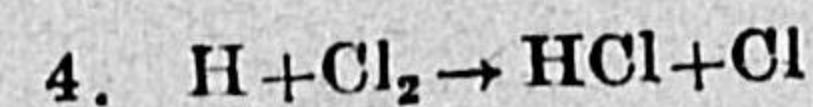
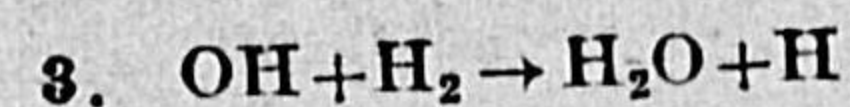
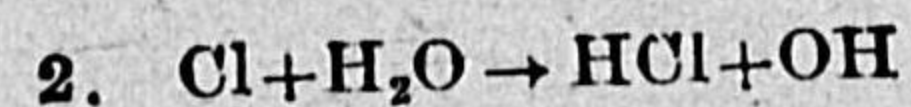
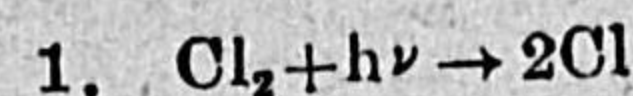
第三は正逆両反応共に光化学的であり、且つ波長も同じものである。これはフオスゲンの光合成に關して既に述べたところである。



4. 光化学的接觸反應. 自然界で光が化學反應に影響を與える場合には、光と觸媒との兩作用が組合さつてゐることが多い。これを光化学的接觸反應と云つてゐる。これに屬する反應の第一は、觸媒はなくても、光だけで促進され得るが、觸媒があれば光の促進作用が更に高められるというものである。例えば不飽和の酸類の酸化は光でだけでも促進されるが、鐵鹽、ウラン鹽などの觸媒を加えれば促進度は更に大きくなる。

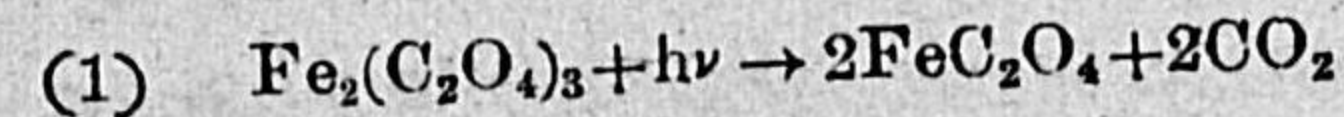
第二は一定の波長の光の下では觸媒がなければ反應の進行しないもの

である。例えば可視線の下で鹽素と水素とから鹽酸が合成されるためには  $10^{-7}$  mm 以上の壓力を有する水蒸氣、特に  $10^{-6}$  mm 程度の壓力のものとの共存することが必要である。このときの光と水との作り方は次のようである ( $h\nu$  は光のエネルギー)。



また觸媒自身の感光性からも分類することができる。即ち觸媒自身には感光性がなく、而かも光化學反應に觸媒として與るものがある。上に述べた水蒸氣のような例で、光化学的觸媒と云われる。また多くの螢光性物質やハロゲン、鐵鹽、ウラン鹽のように、觸媒自身が光を吸収して感光し、このエネルギーが光化學反應に觸媒的に作るものがあつて、光學的増感質と云われる。生物界ではこの光學的増感作用は屢々みられることで、光力學的作用とも云われる。寫眞のフィルムに用いられる感光色素も増感質の好例である。

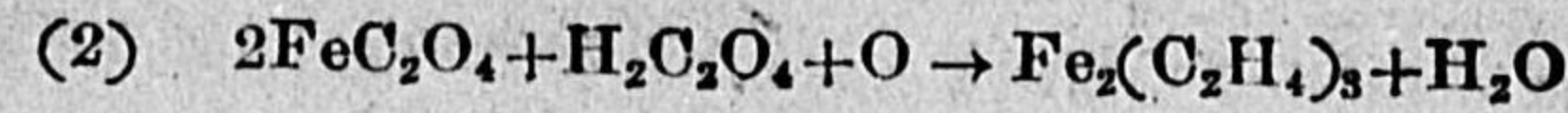
5. 鐵鹽の増感作用. 鐵鹽は一般に光の影響を受け易く、特に砒酸、酒石酸、枸橼酸などの有機酸の鐵鹽は光によつて分解する。この光分解は、第二鐵鹽が第一鐵鹽になることで、鐵イオンは三價  $\text{Fe}^{+++}$  から二價  $\text{Fe}^{++}$  に變る還元である。砒酸鐵鹽の場合は



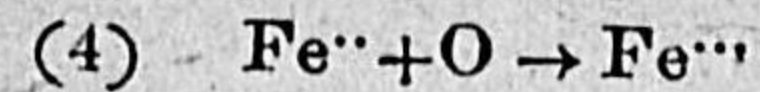
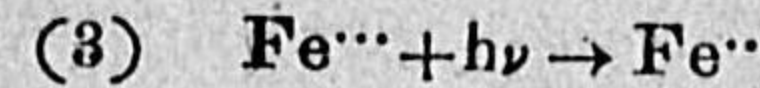
こうしてできた  $\text{Fe}^{++}$  は酸素によつて酸化されて  $\text{Fe}^{+++}$  となることができ



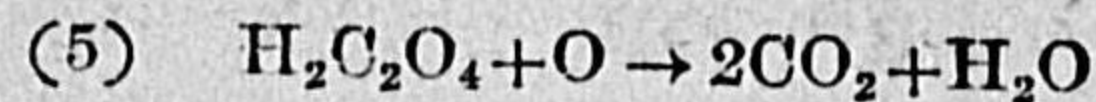
る。



(1) と (2) との總計は



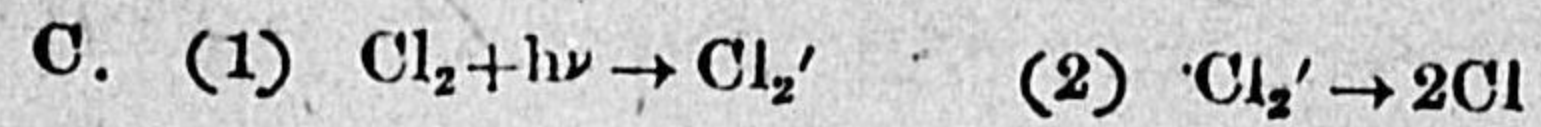
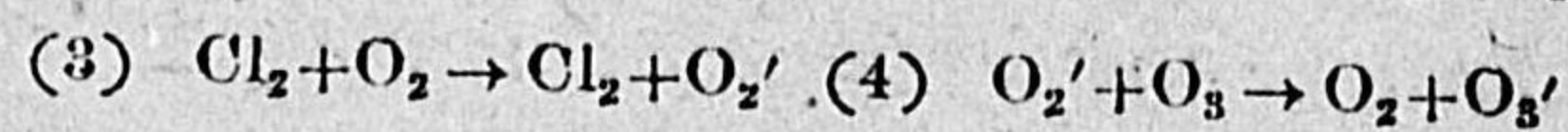
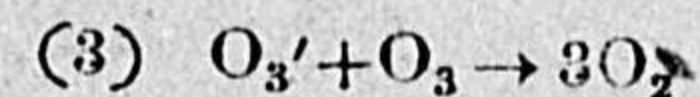
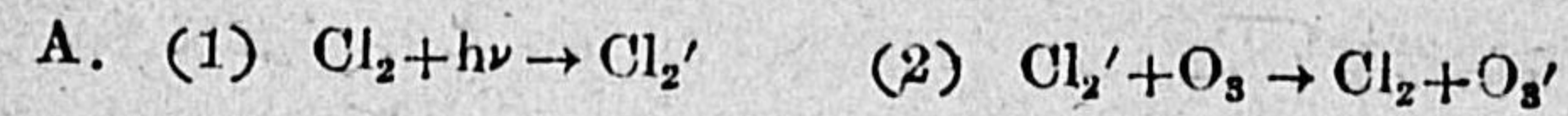
とも表わされ



とも表わされる。

つまり蓆酸は可視線の存在の下では極めて微量の鐵鹽があれば、この光化學的接觸反應によつて、いくらでも酸化的に分解される。市販の普通の蓆酸が屢々獨りでに分解しているのは、その中に微量の鐵鹽が含まれているからである。

6. ハロゲンの増感作用。鹽素、臭素、沃素は増感質として光化學的接觸反應に與ることが多い。例えばオゾンに微量の鹽素があると青色光の下で分解する。この反應の速度は鹽素によつて吸収された光の量に比例するが、オゾンの量には無關係である。この増感の仕方には、次のような種々な型が考えられているが、その何れとも決定されていない。



また酸素と水素とは紫外線の下で水を合成するが、鹽素が増感質とし

て共存すれば、この反應は可視線の下で進行する。

7. 螢光性と増感性。寫真フィルムに感光色素にはシアニン系色素のほか種々なものが利用されているが、その種類は數百に及んでいる。また後章で詳しく述べるようにエオジン、フリョレッセインなどの人工色素は生物體內に存在するビタミン B<sub>2</sub> やその分解物などの色素と共に生物體に對する強い増感質である。これらの色素の増感効果は、その濃度が極めて小さくても認められるが、濃度の増すと共に効果を増す。併し或る一定濃度以上になると、濃度の増すと共に、効果は却つて減つてゆく。この増感機構は從來いろいろに説明されてきたが、まだ解決されていないと云つてよからう。併しこれらの色素は大抵自ら感光性をもっているから、光によつて活性化されて相手の物質——即ちこの色素で増感される物質——と反應して一つの化合物を作り、後者は第二の反應によつて——例えば酸化の場合なら酸素によつて——再び元の形にかえるとも考えられる。また別の考え方では、色素によつて増感される物質と色素とが極めて不安定な物質を作り、これが光によつて他の分子と作いて變化し、色素を再び元の状態にかえすとも云える。ところで、このような増感性色素はたいてい螢光性をもっている。従つてこの螢光そのものと増感性との間に何かの關係がないかということが考えられるが、これを決定するにはまだ實驗的事實が足りない。少くともエオジンの螢光のような可なり長い波長の光が、エオジンの増感作用に匹敵するだけの化學作用を直接にしているとは考えられない。またエオジンなどの螢光性色素が生物體に増感的に作る場合には、類似の化合物の間なら、その螢光性の弱いものが却つて強い増感性を示す。こういう點からエオジンなどの色素では、光によつてその過酸化物ができて、これが酸化的觸媒作用をす



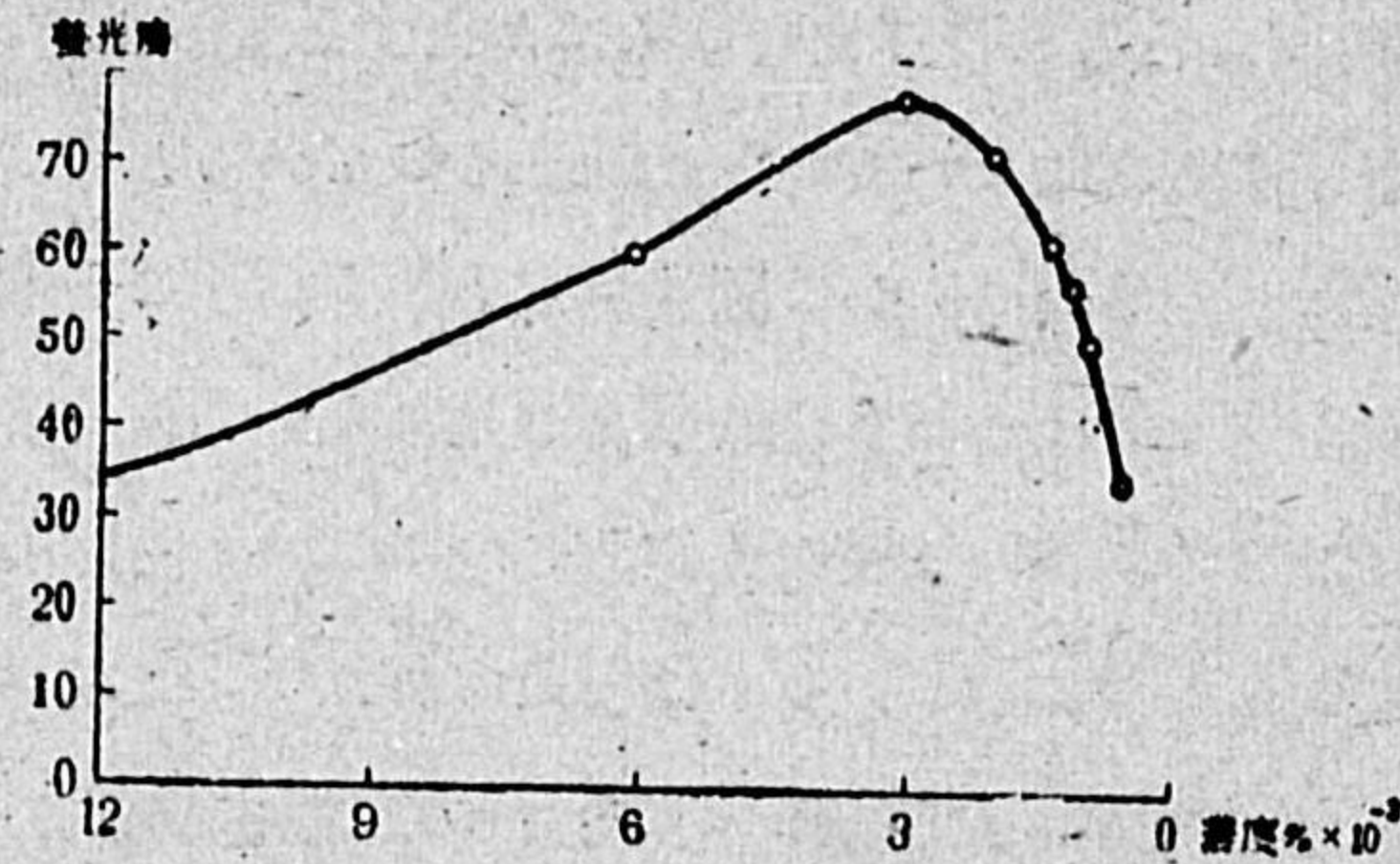
るのではないかとさえ云われている。このように色素の増感性と螢光性との関係は、全く不明であると云つてよいが、今後絶えず注意を向けてゆくべき問題である。

螢光の場合には刺戟光を取去ると、發光は止むが、もし刺戟光を取りさつても尚一定時間螢光が続いておれば磷光である。この場合螢光でも磷光でも、刺戟されて發散する光の波長は刺戟光のそれよりも短い。これは Stokes (ストークス) の法則と云われるもので、例外もあるが一般に適用される事實である。

螢光は沃素、硫黄、セレンウムなどの蒸氣でも、螢石、ダイヤモンド、ルビー、サルチル酸、ウラニウム鹽の結晶など多数の固體でも起るが、生物體と関係の深いのは液體及び溶液の螢光である。

溶液の螢光について注意すべきことは、螢光の強さと溶液の濃度及びその水素イオン濃度との関係である。一般に刺戟光さえ強ければ溶液の濃度は極めて小さくても、強い螢光をだし、濃度の増すと共に螢光も強くなる。併し濃度が一定程度に達すると、これから先きは却つて螢光は弱ま

つてきて、可視部の波長のものなら白濁化してくる。第6圖はリボフラビン(ビタミンB<sub>2</sub>)の溶液の濃度とその螢光度との関係を示したものである。

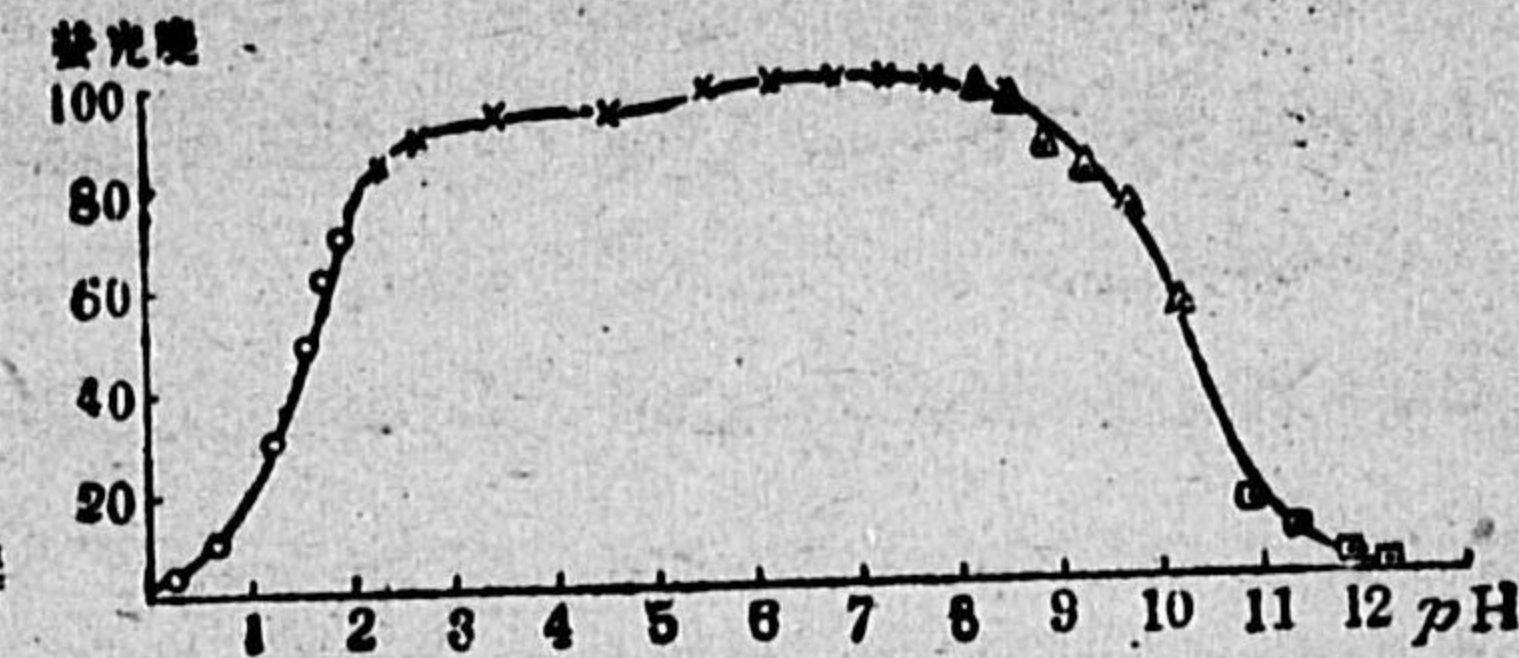


第6圖 ビタミンB<sub>2</sub>の濃度と螢光度(Karrer)

また溶液の水素イオン濃度も、それぞれの螢光性物質に特有な限界範囲と、最適度があること

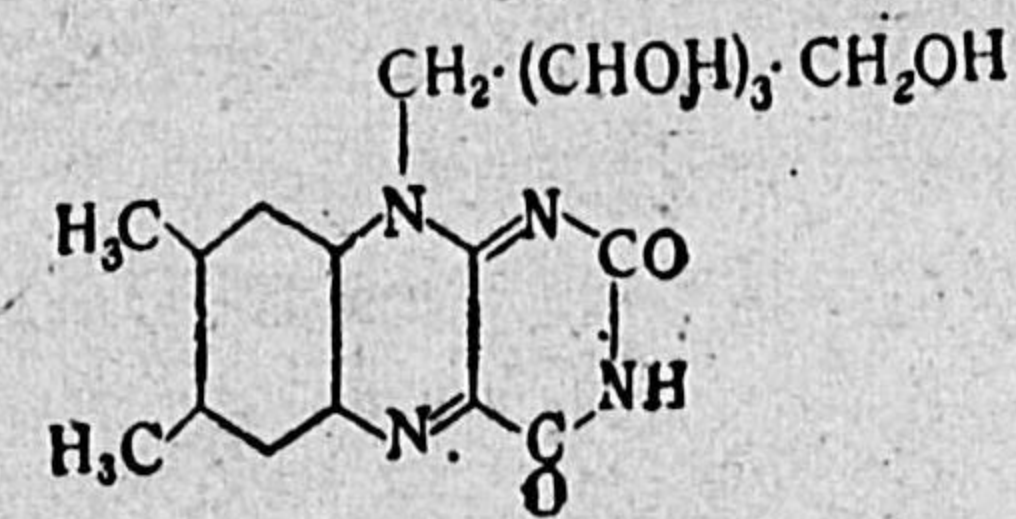
は第7圖のビタミンB<sub>2</sub>の曲線が示す通りである。

次ぎに問題となるのは分子の化學的構造と螢光との関係である。ビタミンB<sub>2</sub>



第7圖 ビタミンB<sub>2</sub>の水素イオン濃度と螢光度(Karrer)

は、リボフラビン又はラクトフラビンとも呼ばれるが、化學的には、6,7-ジメチル・テトラオキシベンチル・イソアロクサチンであつて、アロクサチ



ン核が主體となつて、これに五炭糖であるリボースと、二分子のメチル基がついている。ところで、これの化學的誘導體で、アロクサチン核を含むものは次のように、いろいろ作られているが、皆波長450 mμ前後の光で

第6表 アロクサチン誘導體の螢光(Karrerによる)

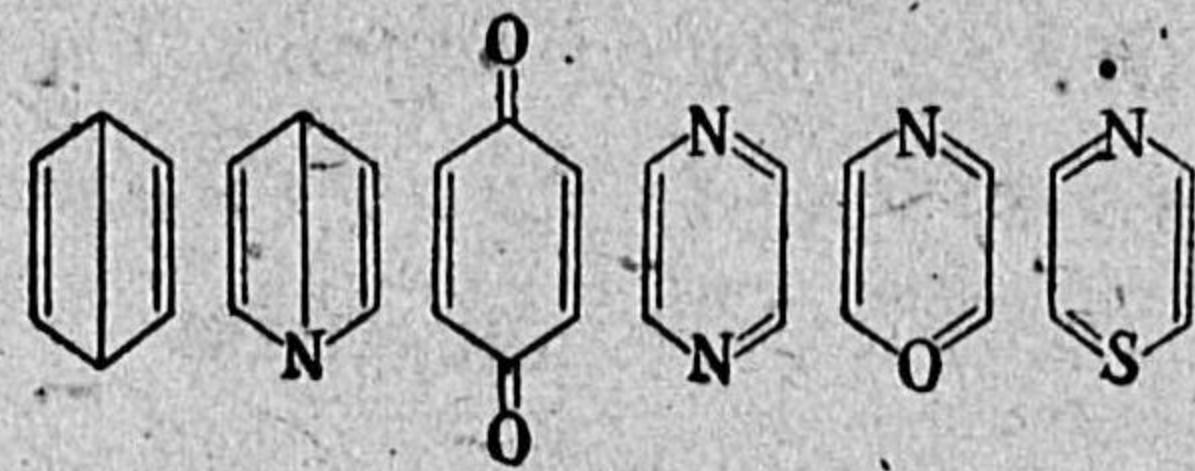
誘 導 體	螢 光 の 色
アロクサチン	紫
リボフラビン	黄緑
6,7,9-トリメチル・イソアロクサチン	黄緑
6,7-ジメチル・アロクサチン	青
6,8-ジメチル・アロクサチン	青緑
7,8-ジメチル・アロクサチン	青緑
5,8-ジメチル・アロクサチン	黄
7-メチル・アロクサチン	青紫



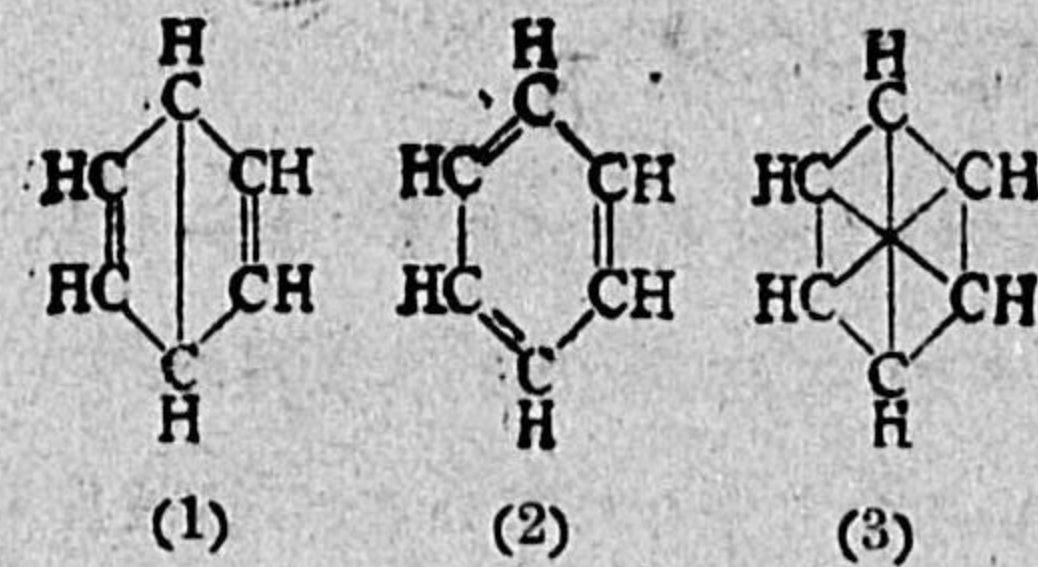
著しい螢光をだす。

上の表によつてみると、アロキサチン核に同じ数の、メチル基がつくにしても、その位置によつて螢光の色調が著しく變つてゐることが判る。そこで螢光性有機化合物の共通性に関する主なる學説を挙げると次の三つがある。

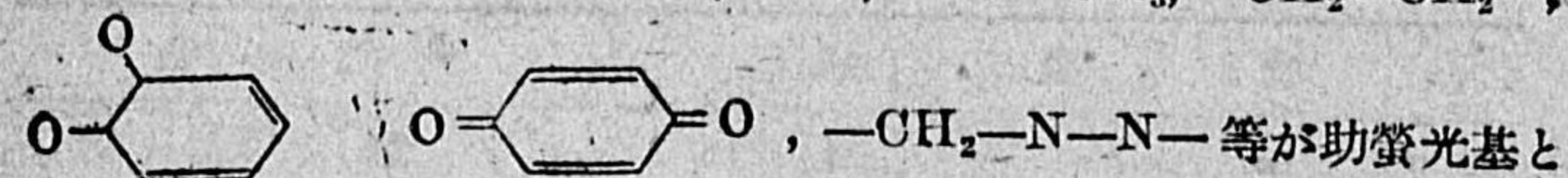
Meyer(マイヤー)は次のような原子團を發螢光基とし、これに $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{CN}$ などの助螢光基が結合して、螢光性が生じるとした。



Kaufmann(カウフマン)はベンゾール核が(1)の形をとつたものが



發螢光基となり、これに $-\text{COOH}$ ,  $>\text{CO}$ ,  $-\text{CO}-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2=\text{CH}_2-$ ,



として結合したものが螢光性を得るとした。併しこの場合、助螢光基が、發螢光基のどこに結合するかということが重要な要素であつて、これについて Kaufmann は種々な細かい原則を擧げている。

Stark(スターク)は選擇吸收をする化合物は皆螢光を發するとした。

螢光性物質の共通性質に関しては、以上の三説の他にも多くの説があ

る。併し何れの説をとつても總ての螢光性物質を説明することはできない状態である。

螢光性物質が光の増感質として生物體にどのように作づくかに就いては第6章、第10章でふれる。

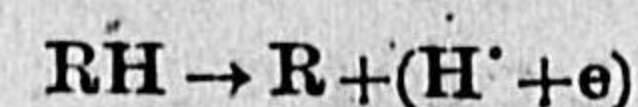
8. 偏光の化學作用. 炭水化物やアミノ酸など生物の物質交代にとつての重要な物質には旋光性化合物が多い。動物のアミノ酸には *l*-型のものが多く、*d*-型 のものは癌患者など特殊な場合だけに、檢出されている。それにも拘らず正常の體內にも *d*-型 アミノ酸に対する脱水素酵素はある。一方では動物體にはコレステリン、筋纖維など偏光性の物質が多い。また體内の膠質の中には、その微粒子によつて光の擴散をして偏光を起させているものがある。白色素細胞を反射光線で見れば眞珠様白色であるが、これを透過光線で見ると紫青色を呈していることが多い。これもグアニン顆粒による光の擴散に基く現象であるが、同時に少量の偏光を伴つている。

このように旋光性化合物と偏光とが生物體內に共存している以上、偏光に基いて、旋光性化合物の合成が行われまいかという疑問がでる。併しこの問題は現在の處、單に可能性として興味をひくに止つてゐる。いままでにも旋光性物質の合成を偏光を用いて試みた人は多かつたが、まだ十分な實驗的事實は確められていない。

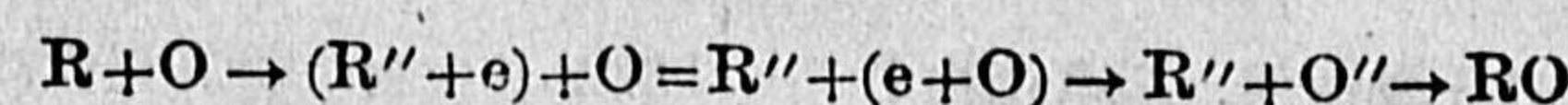
9. 光と酸化・還元反應. 一つの物質が酸化するという事は、これに酸素が添加されるとか、水素が除去されるとかの表面的事實だけでなく、根本的には電子( $e^-$ )の減少することを意味している。つまり酸素や水素と全く關係なく、電子の減少することだけの酸化もある。従つて、陽イオンでは、その原子價の増すことが酸化であり、陰イオンでは減ることが酸



化である。尤も或る物質が、その含んでいる水素を失うということは、同時に電子を失うことであつて、上述の原則には従つている。

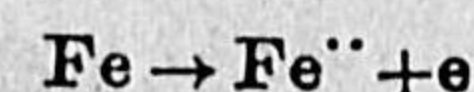


酸素が添加される場合にも電子は失われる。

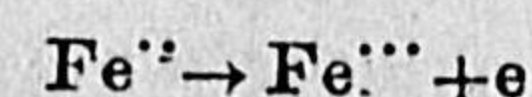


ここでは R から遊離した電子は分子状酸素の活性化又は R と O との共鳴に使われる。電子の増減を鐵の例をとつてみると、

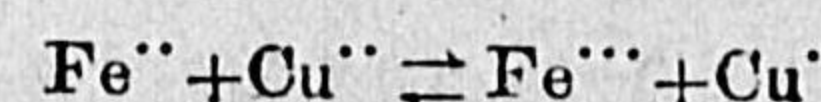
金屬鐵が第一鐵イオンになること



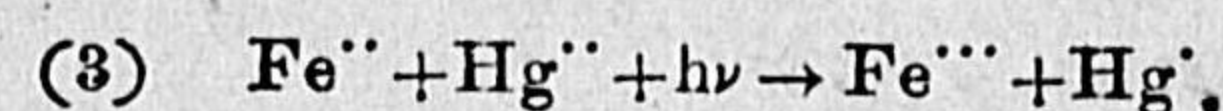
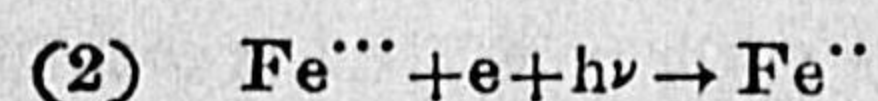
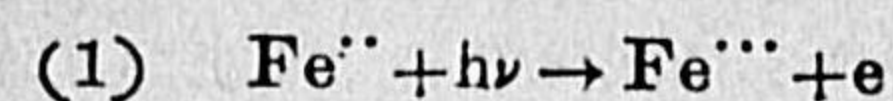
第一鐵イオンが第二鐵イオンになること



は何れも電子を失うことで酸化であり、この逆反応は還元である。従つて鐵イオンと銅イオンとが作り合うときのように、電子が一方から他方へ授受される場合は、一方の酸化と他方の還元とが同時に起るわけである。



光化學的酸化還元では、電子のこの増減が光子によつて誘起される。



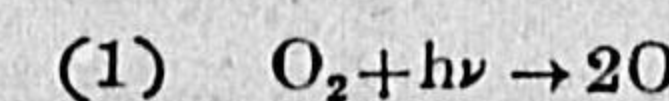
併し  $Fe'' \rightarrow Fe''' + e$  にしても總ての種類 of 反応が光化學的に進行するわけではない。例えば水酸化鐵のときは光化學的に進行するが、蓆酸鐵のときは酸素によつて行われる。このような感光性をもつているために鐵が他の物質の光化學的酸化に對して増感質として作り得ることは、前節にも述べた通りである。ウランやマンガも亦増感的酸化觸媒とし

て屢々利用されるものである。

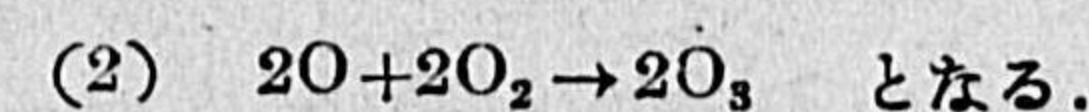
次に生體內にもある主な物質の光化學的酸化還元を擧げてみよう。

(A) 酸素による酸化。酸素が他の物質を酸化するには、活性化酸素、オゾン、過酸化水素のいずれかの形をとる。酸素が、イオン化することは酸素自身にとつては還元であり、オゾン化することは酸化である。また過酸化水素は水素の酸化又は水の酸化によつて作られる。これらの何れの反應も一定の條件の下では光化學的に起こすことができる。

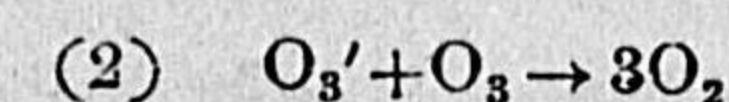
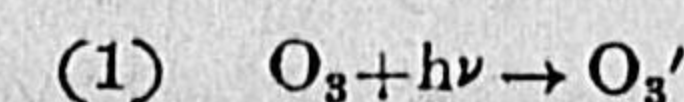
水銀石英燈をつけるとオゾンの臭がするのは誰しも経験していることであるが、これは空氣中の酸素が水銀燈の短波長 (200 mμ 以下) 紫外線によつてオゾンに酸化されるためである。この時の光の作り方は



であつて、光によつて解離された活性化酸素 O は更に分子状酸素 O<sub>2</sub> と作いて

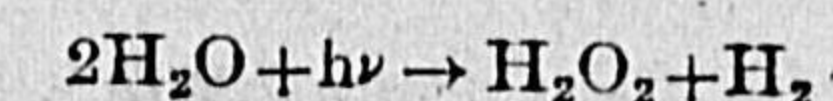


オゾンは 760—670 mμ, 615—510 mμ の赤色線, 黄色線, 綠色線によつて、又 315—240 mμ の紫外線によつて酸素に分解される。



(2) の反應は不活性な O<sub>3</sub> の接觸作用によつて起る。

純粹な水を石英容器に入れて日光にあてると過酸化水素ができる。このとき、空氣があれば多量できるが、空氣はなくとも少量できる。これに作る光は 190 mμ 以下の短波長紫外線である。



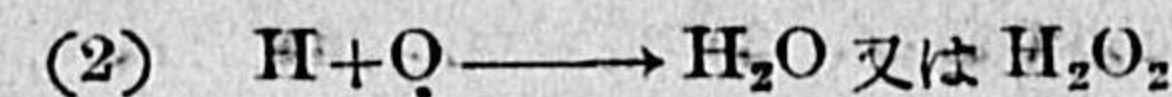
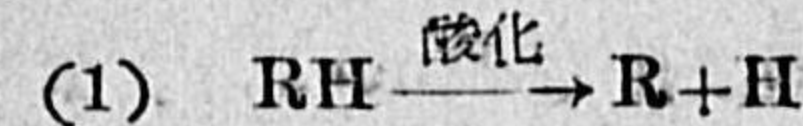
またこのとき酸素があれば次の反應も起る。





こうしてできた過酸化水素は、長波長の紫外線又は可視線によつて分解されて水と分子状酸素又は活性化酸素となる。

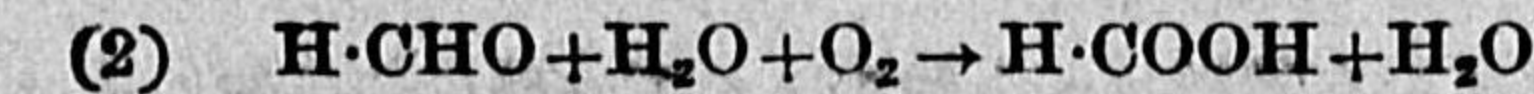
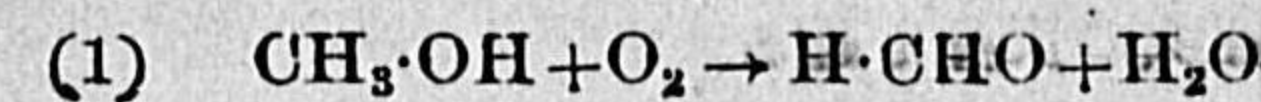
併し注目すべきことは、生物体内で起る酸化・還元の大部分は水素原子の授受を伴うもので、酸素原子の授受はむしろ少いことである。従つて見掛上は酸素がなければ起らないし、又酸素を消費する酸化現象でも、この酸素は或る物質の酸化によつて遊離してくる水素の跡かたすけをするに用いられるだけである。



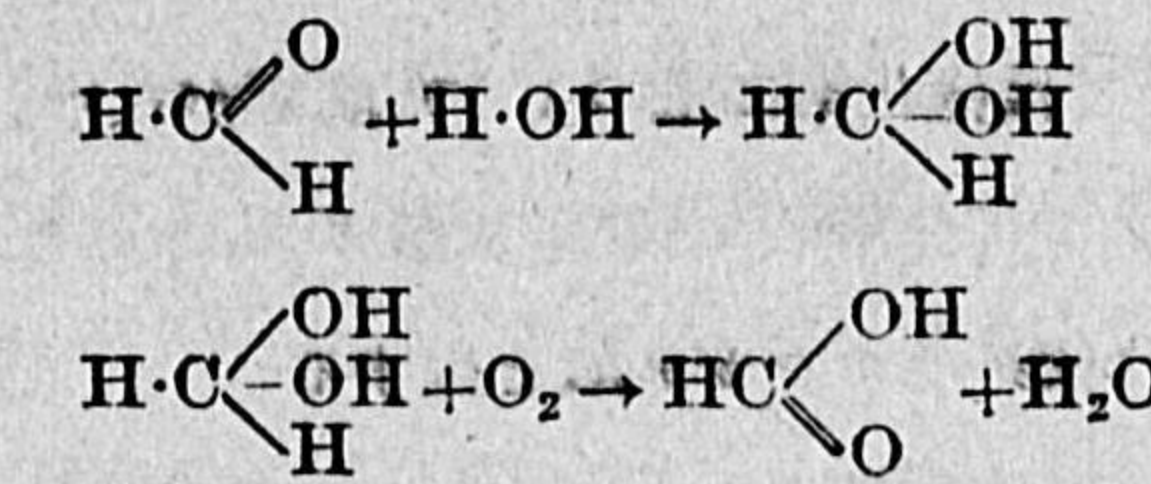
つまり生物体内で使われる大部分の酸素は、(1)の右項の水素を除去して、(1)の反応を絶えず右方に進行させることにのみ役立つているわけである。そして(2)の反応は分子状の酸素又は活性化された酸素で行われ、オゾンや過酸化水素の形で行われることは殆んどないらしい。

また生物体内の酸素は前節「鐵鹽の増感作用」の項で述べた修酸第一鐵が修酸第二鐵に酸化される場合のように、生体内の觸媒的物質が、元狀に復歸する場合に使われることがある。このときも酸素は觸媒的物質の跡かたすけをするだけであつて、觸媒的物質が作きかける本體的酸化には直接の関係はない。尤も酸素の添加で行われる生体内酸化も絶無ではなく、後章に詳説するが、この場合でもオゾンや過酸化水素の形では行われない。

(B) アルコール。メチル・アルコールは酸素と水とが混じていると、可視線の下で、フォルムアルデヒドを経て蟻酸にまで酸化される。

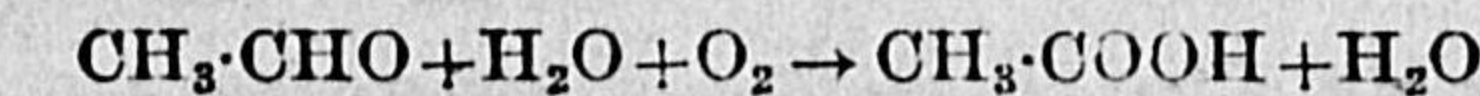
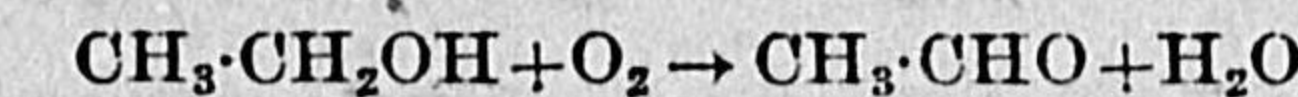


このときの酸化は脱水素的であつて、左項の酸素は脱取された水素と結合して水を作るのに使われる。(2)でも左項の水はアルデヒドと結合して加水物を作るのに使われ、この加水物に脱水素が起つて、この水素と左項の酸素とが結合したものが右項の水である。即ち(2)を分解すれば



この場合鹽化第二鐵を増感劑として加えれば反応が促進されるばかりでなく、鹽酸も生ずる。

エチル・アルコールは水と酸素とが混じていても光の下では變化しない。併しトルオール、キシロール、硝酸第二鐵などの觸媒を加えるとアツェトアルデヒドと醋酸とができる。



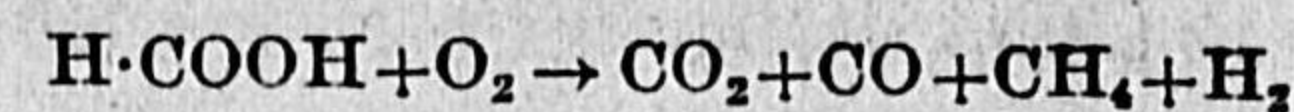
一般にアルコールにキノンを加えると光化學的酸化が起り易い。この反応はアルコールの脱水素的酸化とキノンの取水素的還元——キノンは水素をとつてヒドロキノンとなる——とが組合さつたものである。

(C) アルデヒド。フォルムアルデヒドは酸素と水の共存下で光によつて蟻酸に酸化される。アツェトアルデヒドは酸素と水の共存下で、光によつて醋酸に酸化される。若し酸素がなければ、この反応は短波長の紫外線だけでしか起らない。酸素があれば可視線でも起る。このとき少量の鹽化第二鐵があれば反応は促進される。



(D) 有機酸. 多くの有機酸は光と酸素との下で酸化的分解をする。このときも大抵は脱水素的酸化が行われる。また觸媒で促進されるものが多い。

蟻酸は紫外線によつて分解して

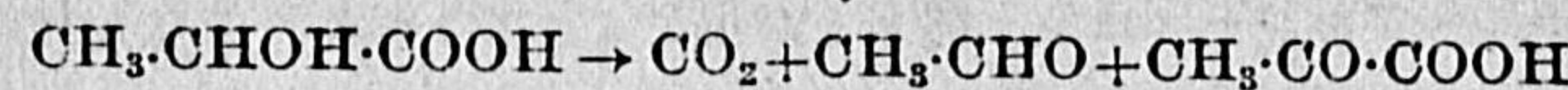


となるが、可視線下では鹽化第二鐵のような觸媒がなければ分解しない。

醋酸は紫外線によつて分解して蟻酸、炭酸ガス、水となる。若し觸媒としてウラン鹽があればグリオキザル酸を生ずる。

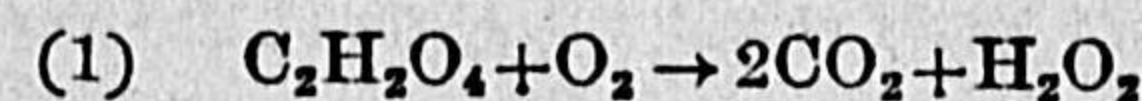
酪酸は紫外線によつて炭酸ガスとプロパンに分解する。

乳酸は紫外線によつて炭酸ガス、アツェトアルデヒド、焦性葡萄糖を生ずる。分解が更に進めば炭酸ガス、アツェトアルデヒド、醋酸が得られる。



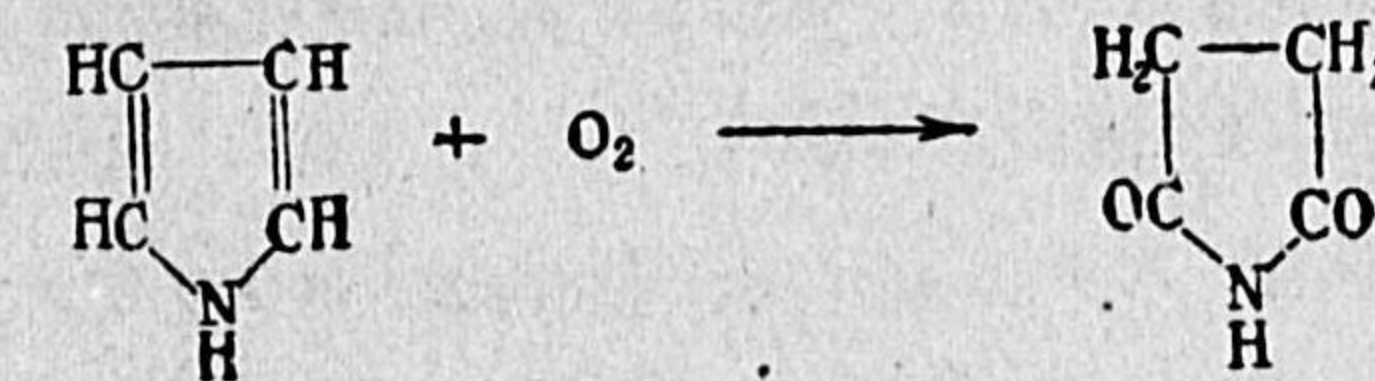
極めて薄い石英容器内で、強い紫外線を乳酸に與えると、エチルアルコール、アツェトアルデヒド、炭酸ガス、一酸化炭素ができることが報告されている。このうちアツェトアルデヒドと炭酸ガスは酸化的分解によつて生じたものであるが、エチルアルコールは前者の還元によつて、一酸化炭素は後者の還元によつて生じたものと考えられる。つまりこの時は部分的には光化學的還元も起つていようである。乳酸は鐵鹽、ウラン鹽などの觸媒によつて太陽光線で容易にアツェトアルデヒドを生じる。

蓚酸は光化學的酸化をし易く、酸素の共存下では、可視線でも容易に分解して炭酸ガスと水となる。このとき中間物質として過酸化水素ができる。



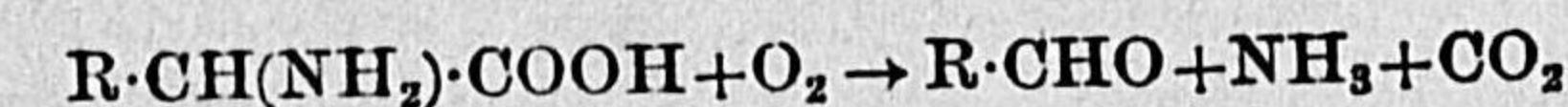
併し蓚酸は紫外線の下では炭酸ガスと蟻酸を生じる。この蟻酸は長波長の光で炭酸ガスと水とに酸化し得る。重金属の種々な鹽は特に蓚酸鹽は蓚酸の光化學的酸化を著しく促進する。

(E) ピロール. ピロールは血色素、膽汁色素など動物體の重要物質の構成要素であるが、骨、角質、蛋白質などを蒸留しても得られ、アミノ酸の一種であるトリプトファンもピロール誘導體とみることができる。動物體の黒色素の少くとも一部はピロール誘導體であるが、ピロールを化學的に酸化剤を用いて酸化すると重合が起つて黒色化してくる。また動物體に注射すれば黒色素が皮膚に沈着し、その一部は尿中にでてくる。これを酸素と、水との共存下に光にあてると、酸化してズクチニミッドを生じる。



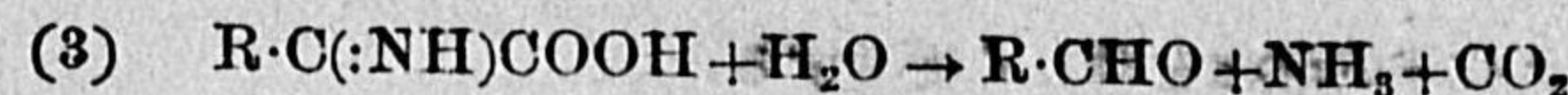
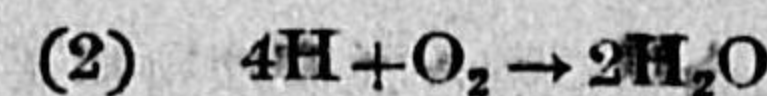
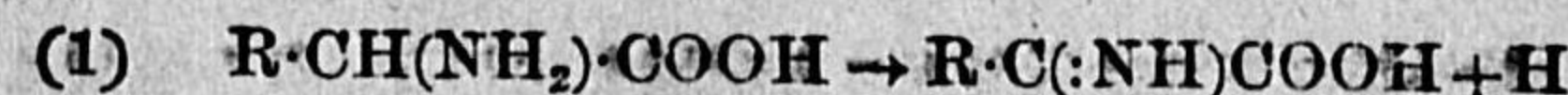
(F) アミノ酸. 血漿は極めて徐々に酸素を吸収するが、若し紫外線で照らせばこの酸素吸収がます。特にヘマトポフィリン、エオジンなどの増感質を加えると著しい。この酸素吸収が血漿中のどの要素に基いていのかは不明であるが、不飽和の脂質、二三のアミノ酸の酸化は少くともその一部であろう。

$\alpha$ -アミノ酸を金属觸媒で酸化的に分解すると、それぞれの化學構造に匹敵したアルデヒドとアムモニヤと炭酸ガスを生じる。



この酸化現象は實は脱水素的なもので次の諸段階から成立している。





このような酸化分解を鐵鹽、ウラン鹽などの増感質を用いて、光化學的に起させることは、ゼリン、イソゼリン、アスパラギン酸などではできが、多くのアミノ酸では出来ないとされていた。尤もチロジン、トリプトファン、ヒスチヂンは光線下で次第に黒褐色、黄褐色、赤褐色化してくるから何等かの酸化分解が起つていることは知られていた。併しどのα-アミノ酸でもこれにリボフラビン系の螢光性物質を増感質として少量加えると、可視線下でも上のような脱水素的酸化分解を極めて簡単にする。これに就いては第6章に詳しく述べる。

(G) プリン誘導體と尿素。尿酸と尿素とは光化學的に酸化分解をし、尿酸の場合には修酸が生じる。

(H) 炭水化物。六炭糖、五炭糖、三炭糖はリボフラビンを増感質とすれば、可視線でも容易に脱水素的酸化をする。

(I) 脂質。ビタミンDがエルゴステリンの紫外線照射によつて得られることは周知のことである。ステリンはまた性ホルモンとしても存在して光によつて酸化される。油脂が光と酸素とに作かれると次第に粘性を増してくること、酸味を帯び、刺戟性の臭氣を發してくること、溶解度が變つてくることなど、如何なる光化學的反應が起つているかは、不明なことが多い。併し不飽和脂肪酸を多量に含むものほど、光による變化も大きい處からすると、これらの變化も亦光化學的酸化に基くものと思われる。

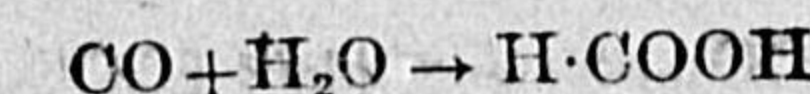
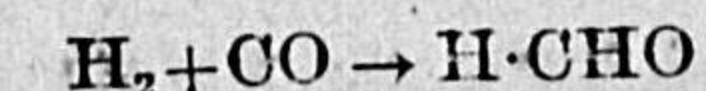
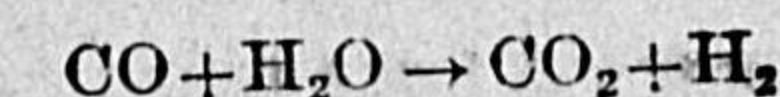
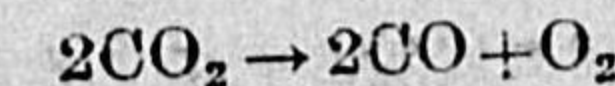
10. 光と合成反應。水素と酸素とからの過酸化水素の合成、酸素から

のオゾンの合成は既に述べた。醋酸とアニリンとによるアセトアニリドの合成、一酸化炭素とアムモニアとによるフォルマミドの合成など、有機化合物間の光合成の例は極めて多い。生物體にとつても光合成は重要な役目をしているにちがいないと考えられる。併し今まで判つている光合成で生物體にとつて最も問題となるのは炭酸ガスと水とからの炭水化物合成であろう。

生物界での糖合成は植物の同化作用によるもので、動物體にはこの機能はない。

以下に述べるのは、植物體から離れた、普通の化學實驗的事實だけである。

Fenton (フェントン) によると、光のない場合に金屬マグネシウムの觸媒を用いると炭酸ガスと蟻酸とはいずれもフォルムアルデヒドに還元される。また炭酸ガスと水との混合物に無電放電をすると



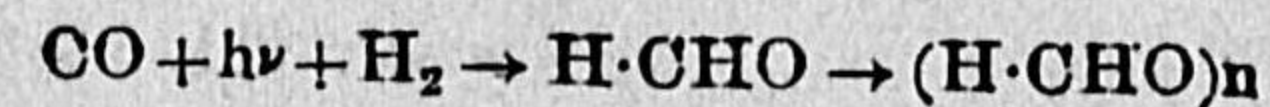
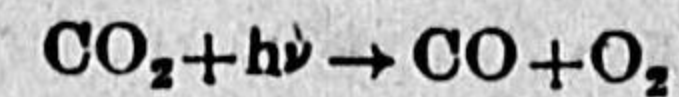
などの反應が起り、フォルムアルデヒドと蟻酸ができる。この場合には放電エネルギーの一部が紫外線に變換することが考えられるので、上の反應の少くとも一部分は光化學的であると想像される。

以上のことから、その間に蟻酸が介在するかどうかはしばらく別問題として、炭酸ガスの還元によつてフォルムアルデヒドの生じ得ることは認められる。

ところで、炭酸ガスが一酸化炭素と酸素とに分解し、一酸化炭素と水素



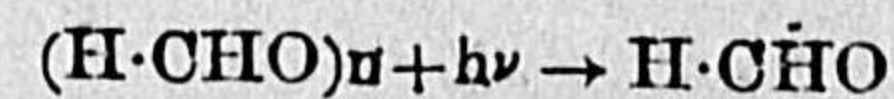
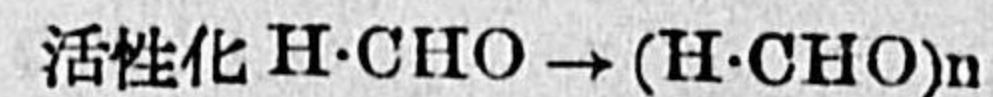
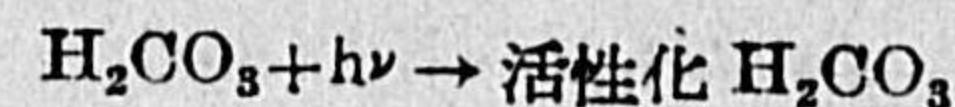
とが化合してフォルムアルデヒドを作り、更に後者の重合が起ることは、光化学的に進行する。



併し炭酸ガスと水とから直接にフォルムアルデヒドが光化学合成されることは疑問視されている。少くとも発生機の水素が共存しなければこの光合成は行われぬという実験結果が多い。

Baly (ベリー) によると、フォルムアルデヒドの水溶液即ち、フォルマリンを水銀石英燈で照し、温度を 30° 以上に上らないようにしておくと四週間後には、蟻酸、グリコル酸、グリコール、グリセリンの外に種々なる還元性砂糖の誘導體ができてくる。即ちフォルムアルデヒドが重合して砂糖になり得る可能性を示すものである。

鐵觸媒のある場合には炭酸は紫外線の下で酸素と炭水化物を作ることができる。この時にはその中間に炭酸の光による活性化と活性化フォルムアルデヒドの生成とが介在すると考えられている。また合成された炭水化物は紫外線で普通の安定なフォルムアルデヒドに分解される。



この炭酸から炭水化物への光合成は白色面上で可視線を用いたのでは殆んど起らないが、着色面上で可視線を用いると、白色面上で紫外線を用いたときよりも収量が多い。これは主として、一旦合成された炭水化物が紫外線によつて分解される事實にも基くが、Baly はもつと重要な事實

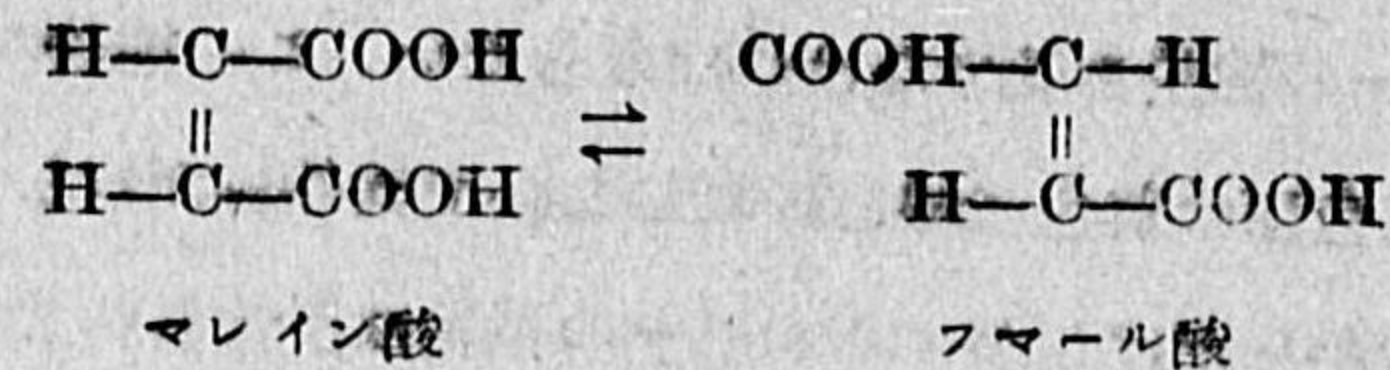
を豫想している。即ち炭酸が活性化されるのは單に光にのみよるのでなく表面に吸着されることにもよる。つまり炭酸を活性化するに要するエネルギーは吸着と光との二つの異つた源泉から與えられる。ところで吸着によつて炭酸が活性化されるのは吸着するときに表面のエネルギーが炭酸に移動するからである。こうしてエネルギーを失つた表面は再び新しいエネルギーの補給を受けなければならない。この補給の源が光であるとすれば、白色面は着色光線を吸収しないで紫外線だけしか吸収しないから、紫外線からだけしかエネルギーの補給は受けられない。併し着色面は紫外線、可視線共に吸収するから、兩者の何れからでもエネルギーの補給を受けられる。従つて上述の炭酸活性化は着色面上なら可視線でも起り得るわけである。

以上に述べた炭酸から炭水化物への光合成は生物體外での化学反應であるが、植物體内でもこれと同じ経過が行われているかどうかは、又別問題である。殊に反應のどの段階が光によつて活性化されるか、又フォルムアルデヒドが如何なる形で介在するかは論議の多い問題である。併し植物の炭酸同化作用が炭酸から炭水化物と酸素とを誘導する光化学反應であることは疑のないことで、この作用あるがために、動物も生存することができる。

11. 光と重合反應。前節に述べたフォルムアルデヒドが紫外線によつて炭水化物を合成するのは光化学的重合の好例である。生物體内にある物質には酸化的に光化学的重合をするものが多い。特にフェノール誘導體で黒褐色な重合體をつくるものが多いが、これらの重合體には化学構造の判つていないものが多い。脂質が光化学的酸化によつて樹脂様化するのも多くは重合によるものと考えられている。



12. 光と轉位反應. 二つの物質を比べたとき, その分子量とその中に含んでいる原子数の割合とは同じでありながら, 異つた物質として存在するものがある. これは分子内に含まれている原子群の配列の仕方が異つているために起る差であつて, 互に一方は他方の異性體とか, 轉位體とか云われている. マレイン酸とフマル酸とはこの例である.



この兩酸の間の轉位も光化學的に進行することができ, マレイン酸よりフマル酸への轉位は太陽光線の含む紫外線で, 逆反應はより短波長の紫外線で行われる. またいずれの方向の反應もブロームが觸媒として共存すれば著しく促進される. 生物體內でも光化學的轉位は行われているのであろうが, 判然とした實例はまだ発見されていない.

13. 光の物理化學的作用. (1) 熱作用. 生物體內で起る化學反應と物理的變化とは大抵熱によつて著しい影響を受ける性質のものである. この點からして波長の大きな光線, 特に赤外線と, 可視赤色線とが熱線として多量の放熱をすることは, 生物にとつては極めて重要なことである. 哺乳類, 鳥類はその體温を自律的に維持することができるが, その他の所謂變温動物では, 體温は外界の氣温によつて左右される. 元よりこれらの變温動物にも自己の體內で發生する熱量は相當あるが, 生活に必要な熱量は太陽熱による直接の保温に俟たねばならない. 幸いに動物の組織は熱線に對して大きい透過性をもつているので, 熱は體の深部まで侵透することができる. また體內には, メラニンその他の物質で, 熱の吸収に役立つと思われるものも多い.

(2) 結晶質の膠質化. 膠質に適量な電解質を加えると, その微粒子は互に接着して大きな粒子となつて遂には沈澱するに到る. これは膠質の凝固現象であつて, 膠質粒子からの放電が電解質によつて起されるからである. この電解質の働きと同じ作用が光にもみられる. 例えば銀, 錫, 鉛, 錫などの金屬の箔を水かアルコールで濡らせて, これに紫外線をあてると, この水又はアルコールの薄膜の中に金屬コロイドができてくる. つまり銀などの結晶質の溶液に於ても, 光による分子放電が起されることの證據である. 併しこの現象は完全に物理的變化に止まるものでなく, 化學變化も亦この中に介在すると考えられる. 即ち光は水に作用して過酸化水素を作り, 後者が金屬箔に作いて酸化物を作る. そのために金屬はイオン化して水に溶解することができる. 光は更にこの酸化金屬に還元的に作用するために, この金屬イオンは電子を得て, 金屬の粒子となつて膠質を形成するわけである.

(3) 蛋白質の變性. 無機化合物, 有機化合物のいずれの膠質も大抵光によつて凝固的な影響を受けるが, このときも, 純粹な物理的變化に止るものは少く, 化學變化の介在するものが多い. 水溶性の動物性蛋白質は紫外線にあたると水に溶解しなくなる. これは膠質粒子が増大したためであるが, この時蛋白質に起る變化は, 單に粒子の大きさに止らない. 即ちこの蛋白質を構成しているアミノ酸の一種であるチステインのSH基は化學的に反應し得るようになる. これをSH基の露出と云つている<sup>1)</sup>. つまり, 光に當らない正常の蛋白質でもSH基の存在することに變りはないが, 光にあたつて膠質的變化が起ると, その中のSH基が化學反應性

1) Mirsky & Anson: *J. gen. physiol.*, 19, 1936.  
Anson: *ibid.*, 23, 1940; 24, 1941.



を帯びてきて、他の物質を還元する能力を得る。こうしたチステインの露出が起るときには、同時に蛋白質中のチロシン、トリプトファン、ヒスチジンも露出されて、その還元力を發揮できるようになる。尤もこれらの露出は光に限つたことはなく、卵白水溶液を泡立てるだけでも起る現象である。併し、光による蛋白質の變性は光と生物との関係を明かにする將來の鍵の一つであろうと考えられ、多大の發展性を含むものである。

光は更に蛋白質の粘性を高め、表面張力を減少させ、旋光性の變化をも起させる。

14. 生物體內での光化學的反應。上節に述べてきた光化學的反應は、總て生物體外で實驗し得る現象である。若しこれらの例にあげた物質が生物體內に存在し、同一條件の光が生物體にあたれば、この反應は皆光化學的に起るかという、實際にはむしろ少い。この理由は生物體內では、多くの物質が蛋白質その他のものと複雑な複合體を作つていて、光の作用から保護されているからである。また、更に大きな理由は、生物體內での化學反應の促進はその大部分が酵素によつてなされていて、光によつて促進されるものは比較的少いからである。併し光がなければ多くの動物が生きてゆけないということは、光化學的反應がその生命維持に、如何に重大な役目をしているかを示すものであろう。

## 第 4 章 動物體の光線攝取

### The photoreception of the animal body.

1. 光線攝取の二型。自然界で生物が影響を受ける光は太陽光線である。第2章にも述べたように、地表に到達した太陽光線は波長2960—30000 Å に互るもので、人工光源から得られるような短波長の紫外線や、長波長の赤外線は含まれていない。従つて、第3章に述べた光の化學作用にしても、大體3000 Å 以下の紫外線によつて起されるものは、自然界では見られない筈である。尤も今から十二、三年前にロシアの Gurwitch (グルウ、ツチ)<sup>1)</sup>によつて唱えられた細胞分裂促進線は2000 Å 代の紫外線であつて、生物體內で發生するということであつた。この紫外線の存在は一般の研究者からは現在否定されている。それで、現在のところでは、光と生物との関係をみてゆくには2000 Å 代の紫外線は問題の外に置いてよからう。

晝間明るい所を好んで生活している動物に分光した太陽光線をあててみると、たいてい緑黄から青緑の間に集つて来る。多くの人間にとつても最も安靜な氣持を與える色は緑色系のものである。これと反對に晝でも薄暗い處に生活している動物とか、土中に生活しているミミズ、ゴカイの類とか、暗黒な洞穴の中に生活しているものとかは赤色や橙色の光線の下に集る。またハエのように晝間は綠色光の下に集まるが夕方からは赤色光の下に集まるものもある。

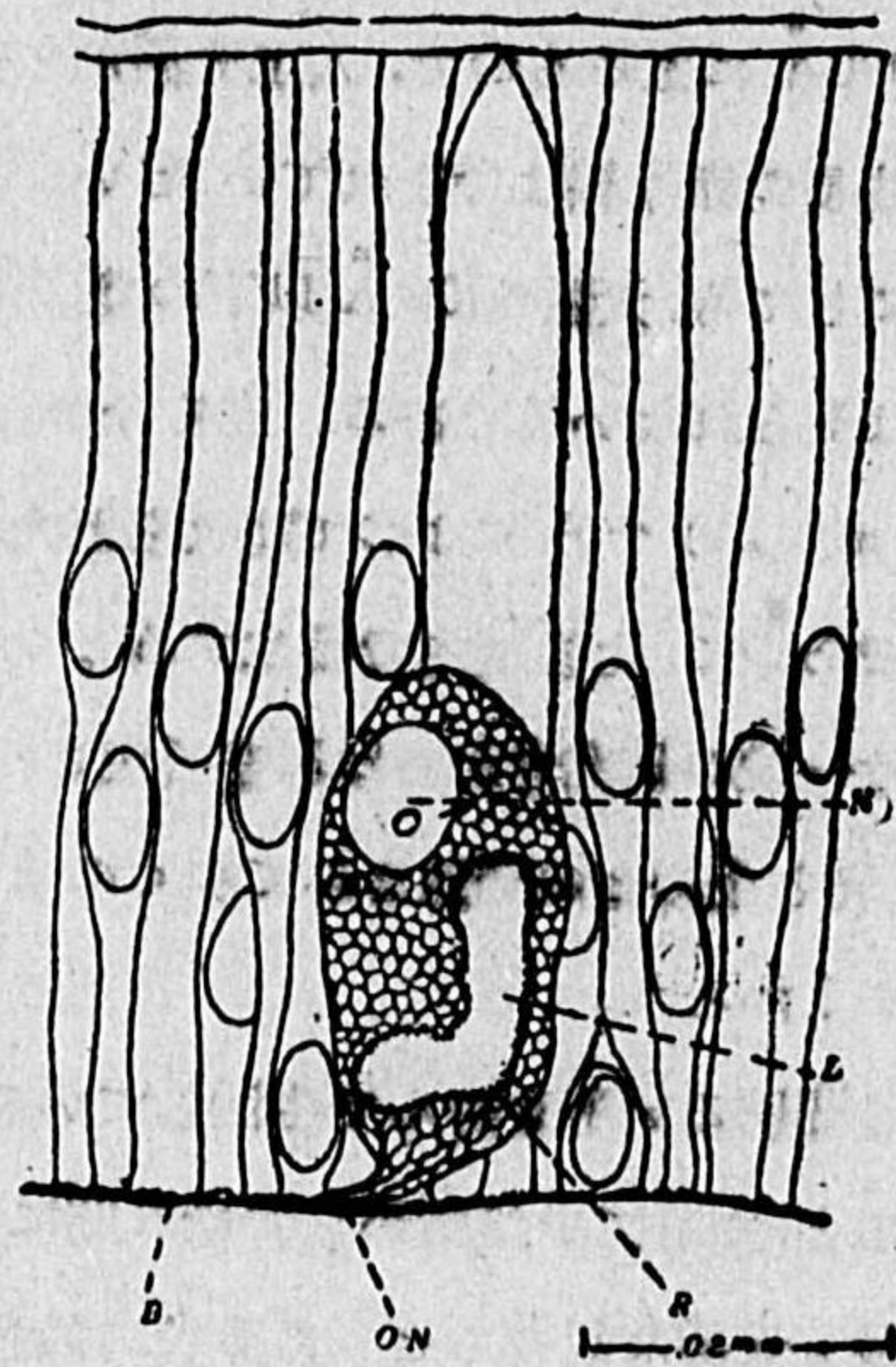
1) Gurwitch: Die mitogenetische Strahlen, Berlin, 1932.



いずれにしても、凡そ動物である以上、眼のあるなしに拘らず、光に反応しないものはないと云つてよい。このように動物が光の影響を受けるということは、體のどこかで光を攝取するからであり、光のエネルギーを吸収している證據である。この吸収には眼その他の光感覺細胞で行われるものと、感覺細胞以外の普通の細胞で行われるものと二型がある。

感覺細胞は神經細胞の分化したものであつて、ここで吸収された光のエネルギーは、神經刺激に變つて、他の神經細胞に傳えられる。この光感覺細胞にはミミズの皮膚で見られるように、皮膚の中に個々に散在しているものと、數個又は數千個が一つの網膜となつて眼を形成しているものがある。皮膚に埋つている光感覺細胞は眼のある動物でも持つているものが多い。大抵の魚類と無脊椎動物とはその例であり、兩棲類や爬蟲類にも可なりある。いずれにしても感覺細胞に吸収される光のエネルギーそのものは非常に小さいが、これが變つて神經刺激となると、他の普通の細胞に與える影響は非常に大きい。

これに反して、普通の細胞が直接に光を吸収して、このエネルギーを自分で利用する場合は、吸収した量に相當するだけの仕事しかできない。またこの場合には、光は皮膚を直接に透過して體内に達する。



第8圖 ミミズの皮膚内の光感覺細胞 (Hesse). N 核. L 細胞内小體. ON 視神經.

眼のないミミズが光を攝取する場合にも、皮膚の中に埋つている光感覺細胞を通じて行うものと、普通の皮膚細胞を通じて行うものと二型があることは次の實驗を試みれば判る。ミミズの光感覺器は頭部と尾部とに多數に分布しているが、胴部には少ない。いま一種類のミミズの大小いろいろな個體を集め、それぞれこれを前後に數片の輪切りにして、強い光の下におくとどの切片も激しく運動して遂に死ぬ。その場合小さいミミズの頭部又は尾部に當る切片は多數の感覺器をもつているにも拘らず、大きい個體の感覺器の少ない胴部の切片よりも早く死ぬ。つまり死にかたの早い遅いは、感覺器の多少には關係なく、皮筋の厚さの大小で決まり、厚い皮筋ほど光は透過しにくい。ということは、光は感覺器ばかりでなく、皮膚を透過してもミミズに影響していることを示すものである。

2. 皮膚の光線透過性。われわれがまぶたをふさいでいても、光の明暗の區別がつくのは、可視線の一部がまぶたを透過している證據である。寫眞感光を利用して實驗してみると、光は微弱ながらも、體内のたいていの部分に到達している。そして一般的に云えることは、動物組織に対しては、波長の大きい光ほど透過性が強く、特に赤外線は赤外線と共に深部まで浸透する。

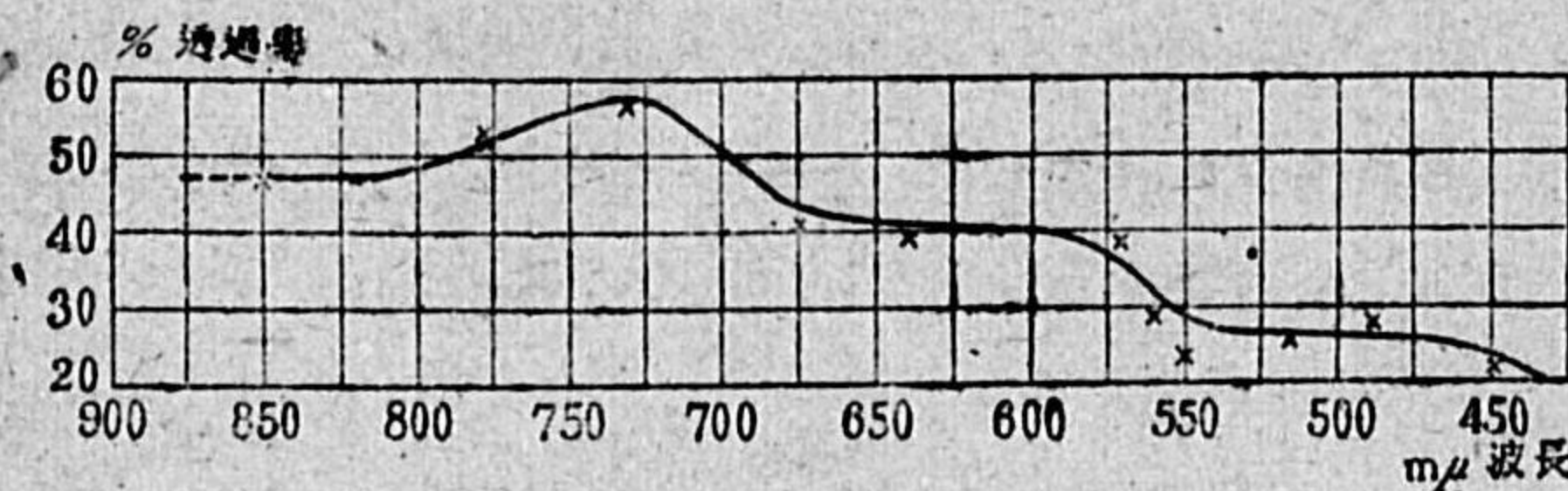
第7表 豚の膀胱の光線吸収率 (Glitscherによる)

濾光障	光エネルギーの極大部の波長	吸収係数 (厚さ 1 mm)
青	4500 Å	10.8
緑	5200	10.1
橙	6200	9.5
赤	6500	9.0

犬、猫、兎などの毛を剃つて、その外側から水銀石英燈を照らしてみる



と、皮膚の血液が循環している状態でも、 $3000\text{\AA}$ の紫外線を皮下に検出することができる。のみならず兎では腹腔内でも $3000\text{\AA}$ 代の紫外線が検出される。これは多くの動物性蛋白質が $3020\text{\AA}$ 以下の光を完全に吸収する事実とも一致することである。



第9圖 人間皮膚の光透過度 (Pauli et al.)

第9圖が示しているように、人間の皮膚は $6000\text{\AA}$ から $12000\text{\AA}$ に至るものをよく透過させそのうちでも $7500\text{\AA}$ あたりの赤色線は最もよく、その透過率は80%に達する。兎の皮膚は赤外線部を68%透過させることができる<sup>1)</sup>。若し皮膚表面にグリセリンや油を塗つて、角質層を透明にすると透過率は更によくなる。

第8表 人間(一歳)皮膚の光線吸収率 (Hasselbalch による)

波長 $\text{\AA}$	4360	4050	3600	3340	3130
吸収係数	2.3	2.6	2.8	3.6	4.6

このように波長の短い光ほど、組織を通過する間に吸収される度が大いから、紫外線が皮膚を透過すると云つても、その量は投射された光の量に比べれば非常に僅かなものである。更にここで注意すべきことは、

1) Pauli et al.: *Strahlenther.* 25—26, 1927.

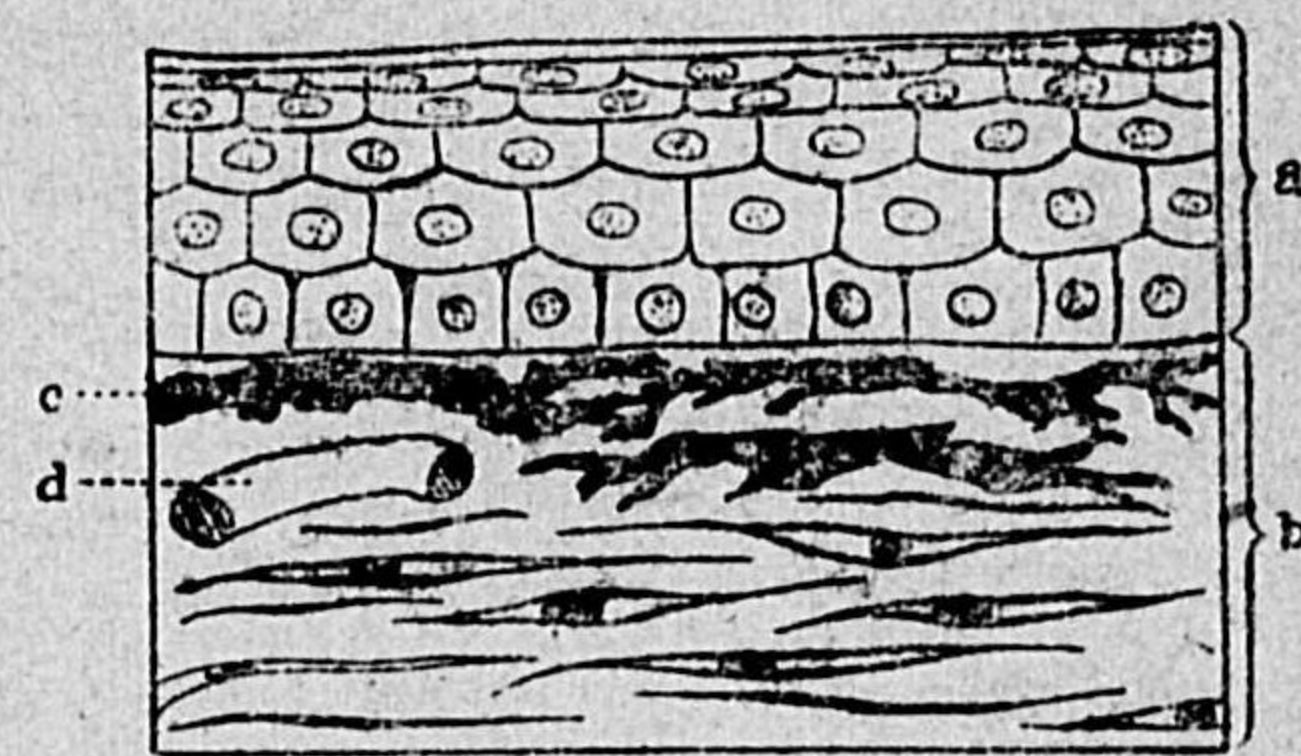
自然界に於いては上の実験の場合とちがつて、生物は常に強烈な人工光線に當つているわけではないことである。従つて投射される紫外線の量も少く、これが表皮層を通過して真皮層の表面に近い毛細血管層あたりまでゆけば、全部が吸収されてしまう。また光線の透過率は動物の種類によつて、著しく異つている。カエルの蝌蚪の皮膚は、可視線はよく透過

させるが、紫外線は表皮層で殆んど吸収されてしまい皮膚の表面から $0.02\text{mm}$ の深さまでには達しない。

いずれにしても皮膚の表皮層は大抵の動物では透明であつて、可視線は十分通過させるが、紫外線の大部

分はここで吸収される。皮膚に限らず、すべての組織について云えることであるが、その部の膠質粒子が大きくなると、濁りを生じてくる。血液の循環が悪くなるとか、酸性度が著しく變るとかして白濁を生じた組織は光を透過しにくくなる。タンニンのアルコール溶液を皮膚に塗ると、その部の蛋白質が凝固するため光の透過を著しく弱める。この性質のためにタンニンは防光剤として使われる。逆にカリウムイオンは蛋白質粒子を小さくするので、蝌蚪を鹽化カリウム溶液内で飼うと、光の透過性が増しすぎて死に易くなる。

3. 皮膚の光線反射性。投射された光の一部は皮膚で反射されるからこの反射の大きいほど、動物體が吸収して利用する光の量は少くなる。ことに投射光線が弱いときには、この関係は重大な要素となる。人間の



第10圖 カエルの皮膚の断面。a 表皮。b 真皮。c 色素細胞。d 毛細血管。



皮膚に就いて行われた実験<sup>1)</sup>によると、赤色から橙色に互る光は投射された量の50→60%が反射され、黄色から黄緑色では15%、緑色から青色では30—35%、紫色では5—10%が反射される。これを色素の少ない白人と色素の多い黒人とで比べると、波長の相違によつて起る反射率の割合は大體似ているが、絶體値は白人の方が大きい。つまり色素が皮膚にあると、光は反射されにくくなり、それだけ攝取される量が多くなる。尤もこの場合には、光の攝取は大部分が色素層で行われるのであるから、この部分以外の組織に直接利用されるとは考えられない。

色素に富んだ皮膚ほど光線を反射する作用が少いことは、可視線ばかりでなく、紫外線、赤外線、赤外線の反射に就いてもみられることである。この反射と吸収と色素との関係は動物の體色を考える上に大きな要素である。

4. 光と體色。周知のように、總ての動物は固有の體色をもっている。飼育動物や變異に基く無色動物もあるが、これとてよく調べれば何等かの淡い體色はある。この體色の原因となるものは多種多様であつて、一律にかたずけるわけにゆかないが、大體次のようなことは云える。

(1) 外界の光と體色。海の魚類には、その生活している深度が大體一定しているものが多い。イワシ、サバなど青い魚は海の表面近くに棲んで居り、カツオ、ブリなど青いものはその次層に、タイ、ホウボウなどの赤いものは更に深い層に、クラ、ホッケなど褐灰色のものはその下に、1000 m以上の深さには灰色や黒色の深海魚が棲んでいる。即ち水面近くにいるものは、青や緑の體色をしているものが多く、深さの増すと共に、黄色、赤色、褐灰色、黒色と體色が變つてくる。ところで第3表にも示したように水は可視光線のうちで、4870Å 青色線を最も吸収しにくく、これより波長

1) Schultze: *Strahlenther.*, 22, 1926.

①大きくなるほど吸収し易くなる。従つて海面に投射された可視線のうち、赤色線の十分な量は海表面に近い水層にだけあつて、青い體色の魚はこの中に棲んでいる。青い體色をしているとは、青色以外の他の光線を、特に青の補色である赤色光を吸収しているということである。また更に深い處では赤色光の量は極めて少いが青色光は多い。赤色の體色の魚はこの層に棲んでおり、この青色光を吸収して、微弱な赤色光を反射して居る。

また500 m位の深海になれば、まだ少量の青色線と紫外線とは検出されているが、人間の眼には既に暗黒である。従つて上の原則からすると、この層にいる魚の體色は無色に近い淡い赤色であり、更に深海に至れば無色となる筈である。然るに深海魚は灰色から黒色である。これは矛盾であるが、深海魚は周囲の微量の紫外線に対する感受性が強く、體色の黒いのはこのためであろう。つまり同じ量の紫外線を吸収しても、深海魚は浅海魚よりも影響の受けかたが大きいのであろうと思われる。同じ暗黒の中に棲んでいても、洞穴動物が無色に近いのは、洞穴内には海水とちがつて紫外線がないためであろう。元よりこの想像を確めるためには深海魚に關するもつと十分な實驗的事實に俟たなければならない。

光と體色との以上のような関係は海藻に就いても云えることである。浅海は一般に緑色であり、次の深度には褐藻類が、最も深い處には紅藻類が生育している。

上の例に挙げた魚は皆底の深い海に棲んでいるものである。イワシが海面に近い處に棲んでいても、その海面と海底とは著しく離れている。従つてここにある光は殆んど全部が太陽からの直接の透過光線であつて海底からの反射光線は問題にならない。これに反して海底の浅い處での



光は透過光線よりも、海底からの反射光線の方が、より重大な要素となつてくる。これは地表の明暗の度が反射光線の量に著しく影響されるのと同じである。それ故に浅い海底に棲んでいる魚では、遊洋性のものもちがつて透過光と反射光との二つの立場から考えなければならない。

カレイ、ヒラメ<sup>1)</sup>の類を底の白い容器に入れておくと、背中<sup>1)</sup>の黒色の度が減つて白すんでくるが、これを底の黒い容器に入れておくと體色も再び黒くなつてくる。また透明な容器に入れて、暗所におくと長い間には體色の黒さは減つてくるが、明處<sup>1)</sup>におけば元にかえる。體色に対する光のこのような影響は、程度の差こそあれ大抵の魚類、兩棲類でみられる現象である。また黒色だけでなく赤、青などの體色についても白色容器内では褪色の現象が見られる。

容器の色と體色との平行的變化を分析するに必要な要素は反射光線である。今、同じ透過光が投射されたとすると、白色容器では黒色容器よりも反射光が多いから、魚の周圍にある光の量は白色容器の方が多い。

ところで第3章の光合成の節で述べたような、光化學的吸着現象を、皮膚の色素が行つていると假定すると、次のことが云える。色素面は他の物質を吸着して、この物質を活性化するために、自分のもつているエネルギーをこれに與える。次に色素面は今自分の失つたエネルギーを回復するために、その補給を光から受ける。そのとき、この色素面の色が黒色であれば、自分に投射された光を反射することは少くて、容易に光のエネルギーを吸収することができる。つまり、投射される光の量は少くても、十分なエネルギーを吸収することができる。併し色素面の色が淡くて白色

1) この類の體色變化に関する研究は非常に多い。ここには代表的なものをつ挙げるに止める。Osborn: *J. exp. Zool.*, 81, 1939.

に近いほど、光を反射する度も大きいから、多量の光が投射されなければ十分な光のエネルギーを吸収することはできない。

これを換言すれば、黒色容器内では色素面に投射される光の量が少い。従つて、この少量の光から十分なエネルギーを吸収するためには、色素面は黒色でなければならない。これによつて色素面は自分本來の役目である他物質の活性化を維持することができる。白色容器内では、この逆で、光の量は多すぎるほどあるから、色素面が黒色であれば、必要以上の光を吸収することになる。若し色素面自身が白色化して、投射される光の一部を反射すれば、丁度適量のエネルギーを吸収することになる。

以上が魚の體色變化に対する著者の見解であつて、體色色素は、光のエネルギーの傳達體として作用しているものであろう。

この考えを上述のイワシ、タイなどの遊洋性の魚の體色に適用すると、タイなどの赤色の魚では、その周圍にある光の大部分は青色光である。従つて體色色素は青色光エネルギーの傳達體として作用するわけで、青色光を吸収するから體色が赤黄型であるのは當然である。またタイの體色が深い海中では浅水中でみるほど美麗でないのは、反射すべき赤色光が少いからである。この考えでイワシの體色を考えると、イワシの棲息層には赤色光、青色光共に存在するのに、何故に赤色光だけを吸収するかという疑問が起る。併しこれは現在のところ判らない。

いままで魚に就いて述べてきたような體色と光との關係は、コエビの種類でもみることができる。海産でも淡水産でも、コエビの種類を黒色容器に入れると、二三分のうち<sup>1)</sup>に體色は黒くなる。これを白色容器に入れると無色に近い透明になり、黄色容器では黄赤色になる。

今までは説明の便宜上、皮膚に直接に入つた光が體色變化の直接原因



であるかのように述べてきた。併し実際には眼をもつている大抵の魚では、體色變化の直接原因となる光は、皮膚に入るものでなくて、眼に入るものである。光によつて眼に起つた神経刺激が皮膚に伝えられて、その末端部で所謂神経ホルモンができ、これが色素細胞を擴張させるのである。體色變化の原因となる光が眼から入るものであるということは次の實驗で確かめることができる。

カレイの體の大部分は黒地の上のり、頭だけが白地の上のりにおくと、體全體が頭まで褪色してくる。逆に頭だけが黒地の上のり、他の部分は白地の上のりのようにすると、體全體頭まで黒くなる。そうしてこの二つの場合とも、眼を黒い膜で被つて光が入らなくしておくと、反應はない。つまり體色の變化は眼から入る光が黒地からくるか、白地からくるかで決まり、皮膚に直接に入る光とは關係ない。

話は横道にそれるが生物現象には例外が多い。上の場合もこの例に洩れず、すべての魚類の體色變化が眼から入る光によるとは云えない。例えば、闘魚<sup>1)</sup>のまだ眼の十分發達しない幼生の色素細胞は、皮膚から入る光で伸縮する。そうして眼が發達してくるにつれて、眼から入る光で影響されるようになる。また極樂魚<sup>2)</sup>の幼魚では、皮膚の小片を切りはなして眼と連絡をなくすると、その色素細胞は直接皮膚から入る光の影響を受ける。この場合には、皮膚に散在する光感受器が眼の代役をすると思われる。いずれにしても多くの魚の中にはこうした例外もなかなか多い。

ここで再び話を本筋に歸えして、光の作用と體色變化との關係に歸る

1) 富田軍二：動雜., 48, 1936.

2) 富田軍二：動雜., 49, 1937.

ことにしよう。皮膚に直接に入る光は、一次的には體色とは關係なく、その周囲の細胞に影響を及ぼして、毛細血管の振縮、透過性の増減などの週期性に變化を起させる。黒地の上では光が不足するために、また白地の上では光が多すぎるために、この週期性は紊される。カレイは皮膚のこの異常變化に對抗するために、黒地の上では黒細胞を伸して、光を多量に攝取し、白地の上では縮めて光を少く受取る。黒地の容器に入れておいても、薄暗いところに長時間保てば、體色が次第に白すんでくることは、暗所では光がなく、光による一般細胞や毛細血管の變化が起らないこと、従つて黒細胞による調節の必要がなくなつたことを示すと見ることが出来る。こういうと皮膚に直接に作りかける光の作用が原因となつてその結果として光は眼から入つて色素細胞を伸縮させるかのように見える。併しこの両者は全く獨立に平行して起る現象である。それでいて結果的にみれば因果關係と同じ關係にある。こうした合目的因果性とでもいふべき關係は多くの生物現象の特徴である。いずれにしてもここで述べておきたいのは、光が皮膚に及ぼす効果に二つあるということである。その一つは眼を迂回して皮膚の色素細胞に達するものであり、他は直接に皮膚に入つて色素やその周囲に達するものである。

光と體色との關係を考へるときに、更に重要な要素は、體色が過度の光の體內深く侵透するのを防いでいることである。體内の諸器官特に神経系の如きは、強い光によつて障害を受け易い。強い光を體表面だけで防止するためには、濃い體色が必要である。南海の珊瑚礁などにいる魚が美しい體色を呈し、熱帯地方の黒人の皮膚が黒いのも、幾世代に亘る強い光の影響の結果であらう。

尤も次の事實もある。日やけで人間の皮膚に色素ができると、紫外線



に対する皮膚の保護作用ができてくるが日のたつにつれて色素が褪色してゆけば、保護作用も減じてくる。併しその時の褪色の曲線と、保護作用の減退の曲線とは一致しない。従つて紫外線防止が色素だけで行われるとは言えない。

體色はもともと、光と深い関係をもつて發生してきたものであろうが、長い世代の間に、この関係の變つてきたと思われるものもある。カエルの體色は光によつても影響されるが、光と獨立に湿度や温度からも影響を受ける。つまり體色はカエルの生理的現象のうち、光と關係あるものの他に、湿度や温度と關係あるものにまで關與するように變つてきたわけである。ディクシッパス (*Dixippus*)<sup>1)</sup> というナナフシムシの一種でも體色は光、熱、濕氣のいずれの刺戟によつても變る。またカメレオンの體色は光や熱のほかに、機械的刺戟でも變わる。

これらの點から考えると、體色が色である以上、この色素は光を吸収してはいるが、その吸収したエネルギーを以つて、何らの生理作用もしていない、云わば飾りにすぎない體色もあるであろう。

(2) 體色の種類。體色はいろいろな立場から分類することができる。

A. 色素の含まれている組織によつて分類すると

1. 皮膚の色に基く體色。

a. 皮膚のクチクテ質に含まれているもの。

甲殻類の甲、貝類の貝殻、昆蟲のキチン質、哺乳類の毛、鳥類の羽毛、爬蟲類の鱗の色などで、皮膚としての生活力を失つた層にある。

1) Giersberg: *Z. Vergl. Physiol.*, 7, 1928.

b. 皮膚の表皮組織に含まれるもの。

人間の皮膚の色などで、この型のもは色素細胞を多數持つてゐる動物にも、毛や羽をもつたものにも見出される。

c. 皮膚に混在する特別な色素細胞に含まれているもの。色素細胞は哺乳類、鳥類、原生動物を除いた總ての動物界にみられるが特に爬蟲類、兩棲類、魚類、軟體類では殆んどすべての種類の動物がこの型に屬する。昆蟲類、甲殻類でもその體色が色素細胞の色に基いているものが多い。

2. 皮下の組織の色に基く體色。

皮膚そのものは、比較的透明なために、その下の種々な組織の色に基く體色。ミミズの體色は主として筋肉層の色であり、人間や白化動物の體色は主として皮膚と血液との色が重つている。

B. 色素の形状によつて分類すると

1. 多くの昆蟲のキチン質や、哺乳類の角質の色素のように、平等に溶けているもの。

2. 色素細胞のメラニンのように顆粒状のもの。動物界にみられる大抵の色素は顆粒状である。

3. 多くの魚類の色素細胞の黄色又は赤色色素のように滴状の脂質に溶解しているもの。

4. 魚類の鱗に沈着しているグアニンや昆蟲の尿酸のように塊状又は結晶状のもの。

C. 色素の化學的性質によつて分類すると

1. メラニン。黒褐色乃至黄褐色の色素の總稱である。化學的にはチロジン、トリプトファンなどのアミノ酸やフェノール系物質、ピ



ロール系物質の酸化的分解物、又はこの分解物の重合物であつて、多くの種類があり、化学的構造も不明なものが多い(第7章参照)。

2. プリン。白色又は真珠色で、グアニン又は尿酸が主體となり、前者の場合はこれにカルシウムが結合していることが多い。

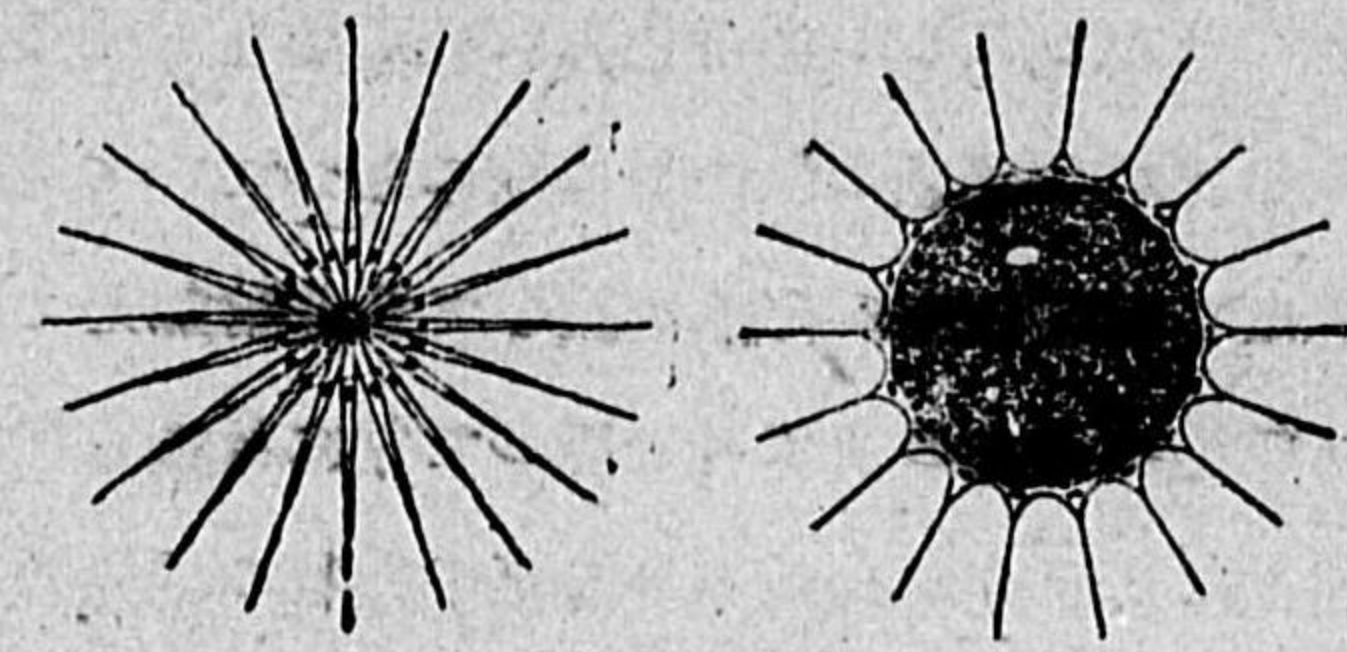
3. クサントフィル。緑黄色、黄色、橙色、赤色で多くの場合滴状又は顆粒状の類脂質に溶解している。化学的にはカロチノイドに属すものやルテイン系のものが多いが、化学構造の不明なものも多い。

(3) 色素細胞。色素細胞はその含んでいる色素の色によつて、黒細胞、白細胞、黄細胞と呼ばれている。そのうち黄細胞は緑黄、黄、橙、赤の總稱であつて、いずれも顆粒状又は滴状のリポイドに溶けたカロチノイド又はルテインを含んでいる。併し赤色色素を含んでいる黄細胞の中にはその色素がアルコールに溶けにくいものがあるので、これを特に赤細胞と呼ぶ人がある。黒細胞は顆粒状のメラニン、白細胞は顆粒状又は結晶状のグアニン又は尿酸を含んでいる。

人間や哺乳動物の表皮細胞にはメラニン顆粒を多数含んでいるものがあるが、これは色素細胞とは呼ばれない。色素細胞の特徴は、これが、光、温度、熱などの刺戟に反応して可逆的に伸縮をすることである。この時の刺戟が直接に色素細胞に作るか、神経刺戟を介在して作くかは別問題である。

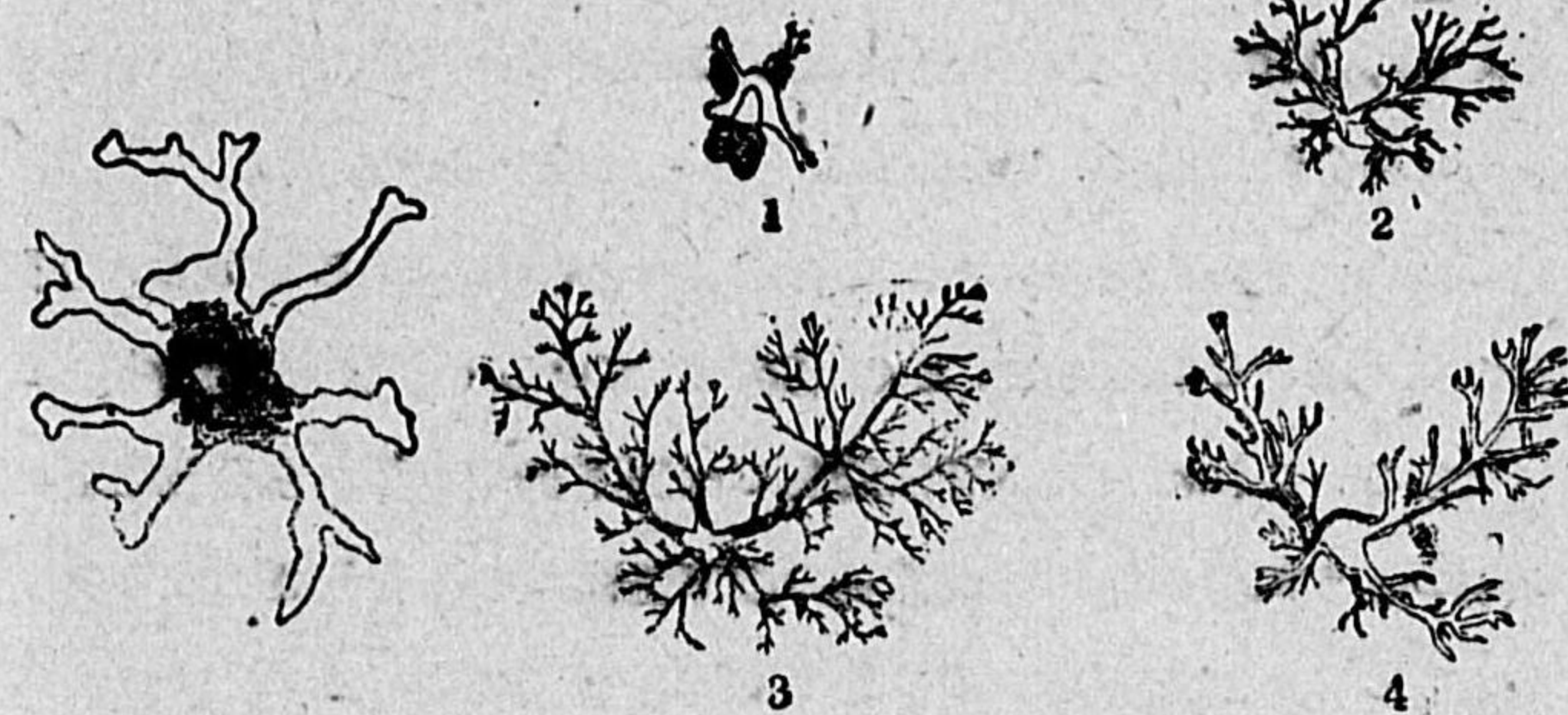
(a) 色素細胞の二型。色素細胞はその伸縮の仕方で二つの型に分類されている。第一の型はイカ、タコなど頭足類にあるもので、この細胞の周囲には幾つかの筋細胞がついている。第11圖のように、色素細胞が収縮するのは、周囲の筋細胞が弛緩するためで、この時色素顆粒は色素細胞の中心部に集合してしまう。逆に筋細胞が収縮すると、色素細胞は伸張

して、色素顆粒は細胞全體に散在される。第二の型は、多くの動物にみられるもので、色素細胞そのものは伸縮しない。この型では或る場合には色素顆粒は細胞の樹枝状突起の先端まで散在してい



第11圖 イカの色素細胞 (Bozler)  
左 色素細胞周囲の筋細胞は伸張し、色素細胞は収縮す。右 左の逆。

る。普通に色素細胞が伸張しているというのはこの状態をさしている。逆に収縮しているというのは、第12圖に示すように細胞そのものは殆ん



第12圖 カエルの  
黒色素細胞。色  
素顆粒は細胞中心  
部に集合す。

第13圖 コエビの色素細胞 (Koller)  
圖中の黒色部は黒色顆粒、斑點部は赤色顆粒、白色部は黄色顆粒を含む細胞質。1 エビを白地  
の上においた時。3 黒地の上においた時。2  
1より3への移行。4 黄色地の上においた時。

ど収縮しないが、色素顆粒だけが、細胞の中心部に集合している状態である。つまり色素顆粒は原形質の流れにより、散在したり集合したりする。

たいていの動物では、一つの色素細胞は一種類の色素しか含んでいないが、コエビの色素細胞のように、一つで三種類の色素顆粒を含んでいる。



ものがある。この場合色素顆粒が散在したり集合したりする時の流れはそれぞれの種類の顆粒毎に別になつていて、三者が混合することはない。

なお色素細胞の伸縮に関して是非附加しておきたいことは、大抵の色素細胞は一連のリズムを以つて常に伸縮していることである。リズムの週期は二三分から五六分に至り動物の種類により、季節により、体内の位置により異つている。このことは、色素細胞周囲の細胞の物質交代にもリズムのあることを示すもので、将来大きな研究課題となり得るものである。

(b) 色素細胞ホルモンと眼の感光。色素細胞が、光の影響によつて伸縮するには眼が必要であることは上に述べた。眼からでる神経刺激は脳に伝えられ、更に新しい神経刺激として他の器官に伝えられて、色素細胞ホルモンを分泌させる。

そこでこの色素細胞ホルモンを分泌する組織は何であるかという問題が起つてくる。このうちで、よく研究されているものは黒細胞伸張ホルモンである。これは大抵の脊椎動物では脳下垂體中葉から分泌される。哺乳類のように黒細胞のない動物の脳下垂體からも分泌されている。そしてその化学的性質はどの動物でも同じか、類似のものであつて、他の動物に注射しても、その黒細胞を伸張させることができる。ところが、大抵の硬骨魚では黒細胞の伸張は脳下垂體ホルモンでなく、この細胞に分布している神経末端から分泌される所謂神経ホルモンによつている。硬骨魚にも脳下垂體ホルモンはあるにも拘らず、正常の状態では神経ホルモンだけが作用しているというのも妙な話であるが、生物界にはかうした矛盾現象も多い。

硬骨魚の黒細胞が神経ホルモンによつて伸張するということは、次の

實驗<sup>1)</sup>で明かにされた。

メダカに似たフンドウス (*Fundulus*) の尾鰭にそのつけねに近いところで縦に小さな切れ目を入れてみると、この切れ目に沿うてその後方に黒い縦縞が一本現われてくる。この現象は魚を黒色容器に入れておいても、白色容器に入れておいても同じであり、また豫め脳下垂體を除去しておいても、おかなくても同じである。二三日すると、切目の後縁の黒い縞は消えてしまうが、この魚を黒色容器に入れると、脳下垂體のある魚では切目の黒帯が再び現われるが、脳下垂體のないものでは現われない。これだけの現象を意味してみると、切れ目を入れたために、切れ目の後縁の黒細胞に分布している神経が切斷される。神経の性質として切斷によつてその末端に興奮が起り、このために黒細胞は伸張して、黒縞が現われるが、時間と共に興奮がおさまれば細胞も収縮して黒縞は消える。また切斷された神経末端は時間と共に死んでゆくから、色細胞は神経と縁がなくなる。こうした色素細胞は脳下垂體ホルモンの影響を受けるよになつてくる。

つまり黒細胞は神経の支配も、脳下垂體ホルモンの支配も受け得る性質を共に持つているが、正常の状態では、神経の影響力が圧倒的に大きいわけである。ナマズ<sup>2)</sup>の類では、兩者の影響力は半々とみてよい程度である。

次に前と同じ切れ目をつけてから十日もたつたフンドウスを脳下垂體を取り去つてから黒色容器に入れると、體全體が黒すみ、白色容器に入れると白すんでくる。このとき切れ目の後縁の黒縞ができていた部分の

1) Parker: Humoral agents in nervous activity, Cambridge, 1934.

2) Parker: *J. exp. Zool.*, 69, 1934.



色も同じように變化するが、その變化は、何れも體の他の部分の變化に比べて一二日おくれて現われる。而かもこの部分の色の變化のしかたをみると、黒縞のできていた部分の周縁から中心部に變化が及んでくる。この現象は、この部分以外の黒細胞に來ている神経末端から、一種のホルモンが分泌されて、これが切れ目の後縁部に滲み込んでくることを示すものである。つまり硬骨魚では、光が眼を通して、神経刺戟となり、この刺戟は黒細胞に分布している神経末端に一種のホルモンを分泌させ、色素細胞はこのホルモンによつて伸張する。そしてこのホルモンには伸張性のものと收縮性のものと二種あることが考えられる。

生物現象には大抵の場合例外がある。色素細胞にも、眼からの光の刺戟を必要としないで、皮膚に投射された光に直接影響されて伸縮するものがある。硬骨魚類での例外は前節に説明したが、そのほかクセノパス (*Xenopus*)<sup>1)</sup> というアマガエル的一种、フリノソーマ (*Phrynosoma*)<sup>2)</sup> というトカゲの一種、また軟骨魚類ではエイ<sup>3)</sup> の皮膚の小片を切り取つて、これに光をあてると色素細胞は伸縮する。併しこの場合でも、この實驗だけで、傷つけない體內での色素細胞伸縮に對して、眼が一つも作いていないとは云えない。つまり正常な状態では、これらの動物の色素細胞も眼からくる刺戟に支配されているが、體外に切りだした場合には、直接の光から影響を受け得るようになるのかもしれない。また、體內では、眼からくる刺戟と、皮膚に直接投射される光とから同時に協力的に影響されているのかもしれない。

1) Hogben & Slome: *Proc. Roy. Soc.*, B, 108, 1931.

2) Redfield: *J. exp. Zool.*, 26, 1918.

3) Parker: *Proc. Amer. Philos. Soc.*, 77, 1937.

(c) コエビの色素細胞ホルモン。コエビの類<sup>1)</sup>では、頭胸部の前端部で色素細胞伸張ホルモンが分泌され、眼柄の上端で收縮ホルモンが作られている。この場合にもこれらのホルモンは眼の感光によつて生じた神経刺戟で分泌される。コエビを黒色容器に入れたとき、體色が黒くなり、白色容器で無色になるのはこのホルモンのためである。

そうして、この伸張ホルモンを白色容器内のカレイの背中の皮下に注射すると、注射部位だけが黒くなり、收縮ホルモンを黒色容器内のものに注射すれば、その部位だけが白くなる。

(d) イカ・タコの色素細胞ホルモン。イカ・タコの類<sup>2)</sup>では後部唾腺でチラミンが作られる。これは唾液の中にも混つて排出されるが、またホルモンとして血液の中にも分泌されて、黒細胞の周囲の筋細胞を收縮させる。そのため色素細胞は伸張する。

ところで、脊椎動物ではチラミンは、アドレナリン酸化酵素と結びつくために、この酵素が作けなくなり、アドレナリンは分解されることなく、十分その作用を發揮することができる。つまりここではチラミンが平滑筋細胞に分布している神経を刺戟して筋細胞を收縮させるのは間接的であつて、直接に作用するものはアドレナリンである。イカ・タコの色素細胞もアドレナリンで伸張するから、ここでも脊椎動物で行われると似たことが行われているのかもしれない。併しイカ・タコにはアドレナリンはないから、チラミンの關係するのは、アドレナリンに似た物質であろう。

一方イカ・タコの筋肉内にはベタインがあつて、これは色素細胞を收縮

1) Koller: *Z. Vergl. Physiol.*, 8, 1928.

細井輝彦: *J. Fac. Sci. Tokyo Imp. Univ.*, 3, 1934.

2) Sereni: *Biol. Bull. Mar. Biol. Labor. Wood's Hole*, 59, 1930.



させる。

イカ・タコが食物をたべている間は、その體色は黒ずんでおり、飢えているときは白ずんでいる。これは唾液腺が作用している間はチラミンの内分泌も旺んであることを示すものである。実際にこの時の血液をとつて、飢えて白ずんでいるタコに注射すると黒ずんでくる。

(e) 昆虫の色素ホルモン。ディクシッパスリというナナフシムシの一種は日中は休止して、夜間に活動するが、その體色は日中は濃くなり、夜は褪色する。この皮膚には黒褐色、橙赤色、黄色、緑色の四種の色素顆粒がある。これらは色素細胞の中にはないが、各々塊状に集つて恰かも色素細胞内に於けると同じように、集合、離散することができる。この昆虫に光があたると、光による眼の神経刺激が神経系を経て頭部にある内分泌腺に伝えられ、これによつて分泌されたホルモンは血液と共に循環して、體表面の色素群を伸張させる。

(f) 温度と色素細胞。水は熱容量が大きいので、海とか大きな湖沼とか河川の水中の温度は激しい変化をしない。従つて深い水中に生活している魚類は温度の激變を経験することが少い。これに反して主として地上や小川などに棲んでいるものは外界の温度の變るにつれて體温も變化する。魚類の色素細胞が温度の變化に對して殆んど反應を示さないのにカエルの色素細胞が著しい伸縮をするのはこのためであろう。カエルを30°位に數日間保つておくと、黒色細胞は著しく收縮するばかりでなく、細胞の數そのものも減つてくる。温度を5°位に下げれば逆の現象が起る。これは眼のあるなしには關係しないことであるから、色素細胞ホル

1) Atzler: *Z. vergl. Physiol.*, 13, 1930.

モンの分泌が温度に影響されることを示すものである。そして色素細胞そのものの伸縮に對しても、またその周囲の細胞に對しても、光は温度と同じ働き方をしており、両者は互に補助的に作っていると云える。

(g) 色素細胞の生理的意義。動物の生活にとつての體色の意味は、いろいろな立場から考えられ、保護色、警戒色、異性誘惑色などの見方もし得る。併し色素細胞で如何なる化學的變化が起り、これが周囲の細胞組織に如何なる影響を興えているかということが、今のわれわれの問題である。この問題に入る前に、少し話を横道にそれさせる必要がある。

すべて生物體內で起る化學反應は、エネルギーの消失をなるべく少くして、その効果を擧げるように進行している。そのために、所謂作用物質と云われる觸媒だとかホルモン、酵素、ビタミンだとかの要素が作いて、反應の進行を圓滑にし、又その速度を早めることに與つている。神経刺激もこの立場からみることが出来る。ところで脊椎動物のような體制の複雑なものでは、體內諸器官には交感神経と副交感神経との二種類が分布して居り、これらは互に拮抗的に作っている。つまり一つの反應、例えば肝臓でグリコゲンが葡萄糖に分解する反應に對しては、交感神経が促進的に作り、副交感神経は抑制的に作っている。ところがこれらの神経は單獨で作くよりも、他の物質と協力して作ることが多い。例えばアドレナリンは交感神経と協力し、アセチルコリンは副交感神経と協力する。従つてアドレナリンとアセチルコリンとは互に拮抗的に作るわけである。このような協力物質には神経作用と離れても即ち單獨でも作り得るものが多く、上に述べた作用物質の一種と云える。

以上のことを裏から見れば、一つの作用物質にはこれと互に拮抗的に作る對立的作用物質があるとも云える。ところで前節にも述べたように



交感神経の協力物質であるアドレナリン、チラミンなどは黒細胞、黄細胞の収縮と白細胞の伸張とを起させる。副交感神経の協力物質であるアセチルコリンはこの逆に作る。このことから黒細胞、黄細胞の一群と白細胞とは拮抗的に作っていることが考えられる。実際にもカエルなどでは黒細胞の伸張しているときは白細胞は収縮しているし、前者が収縮しているときは後者は伸張している。

一方では、チラミン、トリプタミン、ヒスタミンは光とリボフラビン又はピロールグロームとの協力による酸化還元作用によつて、 $\alpha$ -アミノ酸から作られることは第6章に述べる通りである。また黒細胞の色素であるメラニン主としてチロジン、トリプトファンなどのアミノ酸及びこれらの誘導物であるチラミン、トリプタミン、アドレナリンなどの酸化的分解によつて生成される。そうしてこのメラニン生成の或る段階には酵素が関與するが、他の段階には光が協力的に作っていることは、第7章で述べる通りである。

次に、黒細胞はその含むメラニンの母體即ちチラミン、トリプタミン、アドレナリンなどによつて収縮する。また一定濃度のこれらの作用物質は一般的に云つて、組織や毛細血管の透過性を支配する。更にこの透過性を支配する他の條件、例えば一定の温度は同時に黒細胞の伸縮の原因ともなる。そうして黒細胞の伸張を起させるような凡ての條件は上の作用物質を増量させ、収縮させるようなものは逆に作る。

以上の皮膚の組織、毛細血管の透過性の増減と、黒細胞の伸縮と、作用物質の増減との間の相互関係及び作用物質とメラニンとの化学的關係を考えると、黒細胞の作用が、その周囲の組織や血管毛細管の緊張度の維持と何等かの関係をもつていることが考えられる。

次に黒細胞と拮抗的に行動する白細胞のグアニンは、化学的に云つてヒスタミンと関係がある。ヒスタミンはアドレナリン、チラミンなどと拮抗的に血管毛細管に作り、血液内の水分を血管外に透過させる。ヒスタミンは黒細胞を伸張させ、白細胞を収縮させる點からも、アドレナリンと拮抗的である。以上のことから、白細胞も亦、周囲の組織や血管毛細管の緊張度の維持と何等かの関係ある作用をしている。ただその作用は黒細胞の作用と拮抗的であると考えられる。

以上の觀點から、色素細胞の生理的意義を求めると、少くともカエルの場合には、次のように考えられるであろう。光の消長は、色素細胞の周囲の組織・血管に對して、直接にか間接にか蛋白質の状態變化を起させる。これに基いてその部の透過性や引いては物質交代などの週期性に異常變化が起る。一方では、光は眼を刺戟して脳下垂體ホルモンの分泌を支配し、色素細胞の伸縮を起させる。その場合、黒・黄色素細胞が伸張すれば、この細胞内の色素顆粒は、表皮を透して直接に入つてくる光の反射量を減らし、一方ではこの光を多量に吸収して顆粒の光化学的吸着現象(63頁参照)によつて、エネルギー傳達體として作り、細胞内外で起る他の化学反應に調節的に作る。この化学反應は上に挙げた異常變化を正常化することに用いられるもので、アミンの生成、分解の如きはその一つである。そうしてこの化学反應は多くの動物では光化学的であるが、動物によつては熱化学的にも起る。また白細胞の調節作用は黒細胞と逆と考えられる。

以上の他に皮膚の色素細胞群は光線が體内深く侵入するのを防ぐ役目もすることは前に述べた通りである。



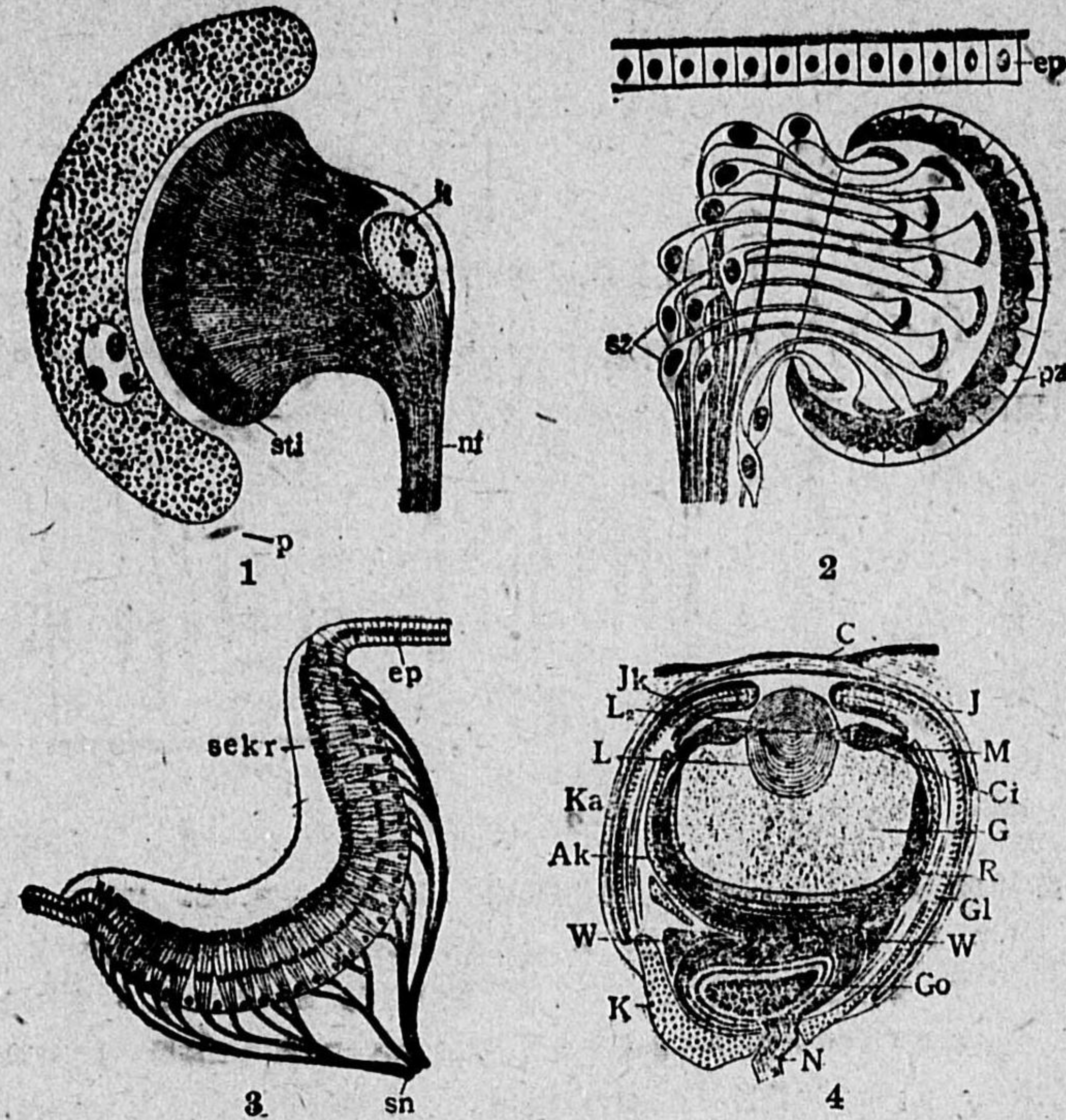
## 第5章 眼

### The eye.

眼による光の感受は、これによつて外界の物体の存在を認識するといふに止まらず、光の刺激は神経系によつて、新しい刺激に作りかえられて体内の化学反応に影響を及ぼすことが多い。第6章に述べるウグイスの夜飼の如きは、眼に入る光が生殖腺ホルモンの分泌に関係していることを示すものである。

1. 眼の種類. 眼の構造は動物の種類によつて多種多様であるが、すべての眼は視細胞と色素とを必ず具えている。視細胞は神経細胞の分化したものであつて、感光はこの細胞で行われ、核節、内節、外節の三部分からなつている(第14, 15 圖)。外節は感杆と云い觸細胞の感毛に相當するものであるが、その形が杆状のものと、圓錐状のものがある。前者を具えているものを柱細胞、後者をもつものを圓錐細胞と云つている。兩細胞とも内節の中に感光物質を含んでおり、内節に接した核節端は、筋様節となつて、この部の伸縮によつて細胞全體が伸縮することができる。黒色素はメラニン顆粒であつて、大抵の動物では特別な色素細胞の中にある。併し簡単な構造の眼では視細胞の中に含まれていることもある。一般に色素細胞はその樹枝状の突起で視細胞の側壁を取り巻いている。その中の色素顆粒は細胞内を流動して、視細胞の側壁をとりかこむように分散したり、逆に細胞の一部に集合したりする。

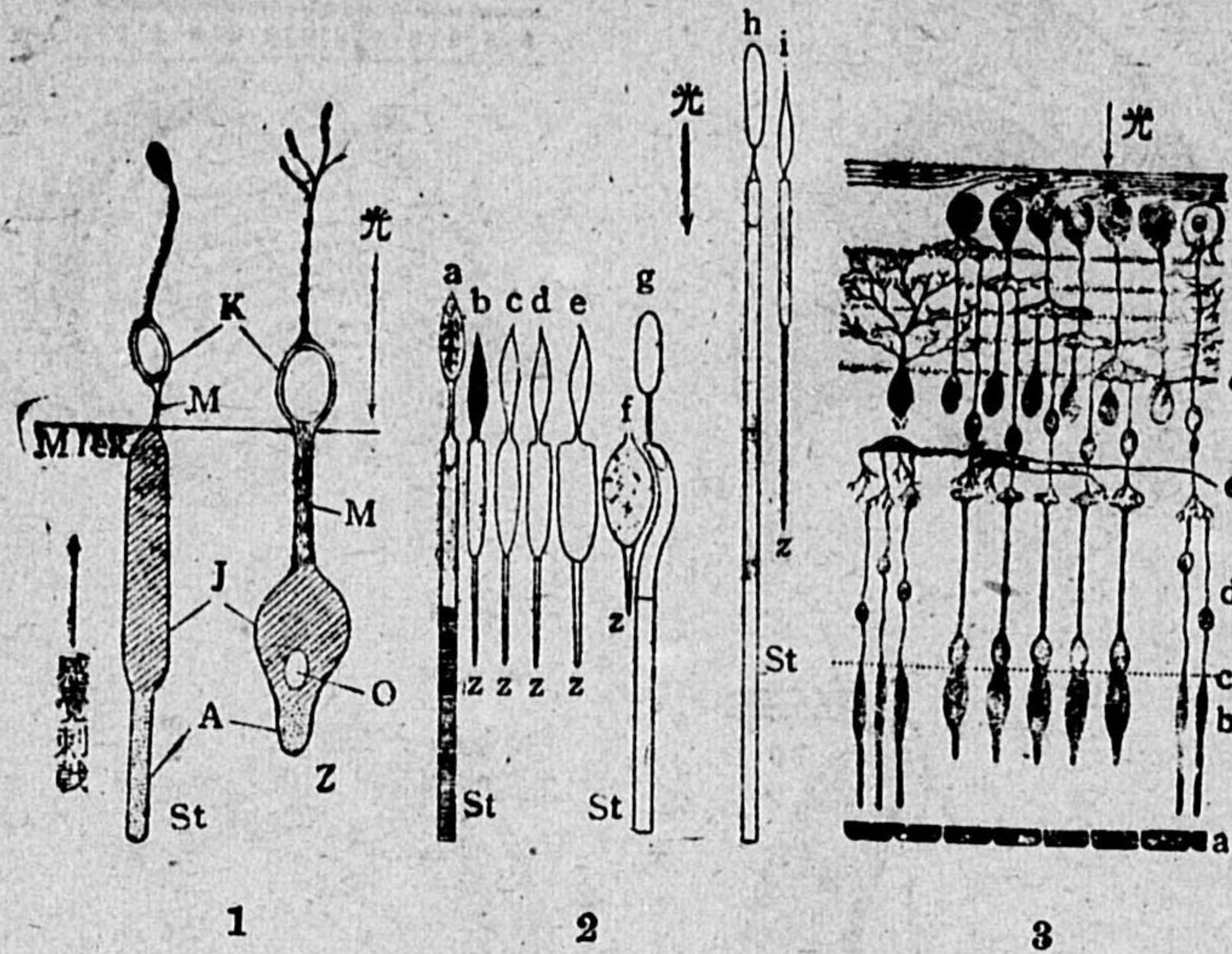
プラナリヤの單細胞眼のように、一つの視細胞と一つの色素細胞とからなつている眼は比較的少く、多くの場合は視細胞、色素細胞共に多數集



第14圖 1. プラナリヤの單細胞眼 (Hesse). k 核. sti 感杆. nf 視神經. p 色素細胞. 2. プラナリヤの多細胞眼 (Hesse). ep 體表皮. sz 視細胞. pz 色素細胞層. 3. メガサの凹眼 (Hesse). ep 體表皮. Sekr 硝子體代用の分泌物. sn 視神經. 4. イカの眼 (Claus-Grobben-Kilku). Ak 眼球軟骨. C 角膜. Ci 毛様體. G 硝子體. Go 視神經節. I 虹彩. K 軟骨. Ka 外眼球鞘. L レンズ. N 神經. R 網膜. W 白色體.

つて、それぞれ一層の上被組織を形成している。この視細胞上被と神経細胞層とが重なつて一つの組織となつたものが網膜である。



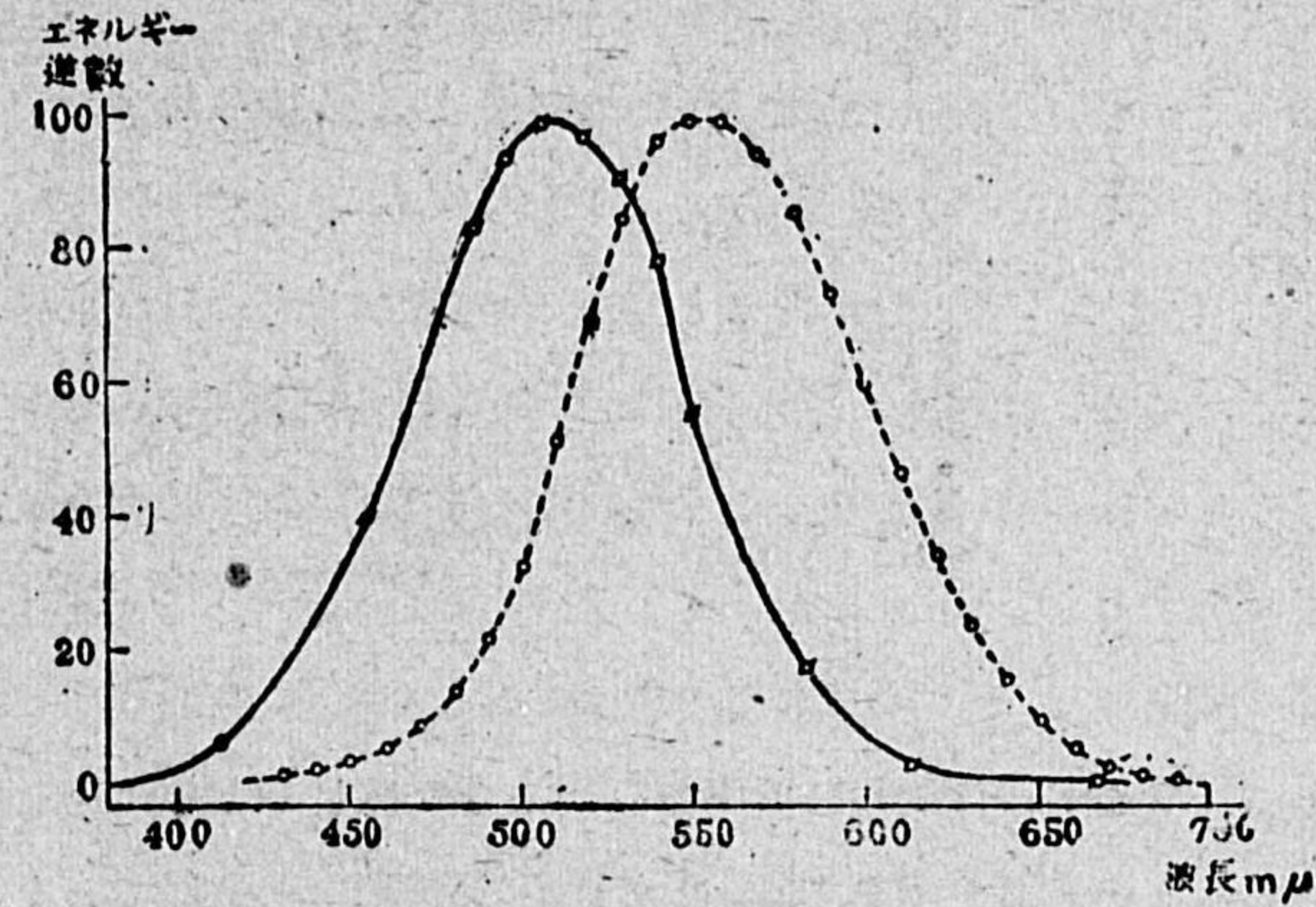


第15圖 1 柱細胞と圓錐細胞 (Studnitz). Z 圓錐細胞. St 柱細胞. A 外節. J 内節. M 筋様節. K 核. O 油球. Mlex 外限界膜. 2 イタチの視細胞の種々型 (Franz). Z 圓錐細胞. St 柱細胞. 3 脊椎動物の網膜 (Krause). a 色素細胞層. b 視細胞の内外二節層. c 外限界膜. d 視細胞核層. e 神経細胞層. f 視神経層.

動物界には二つの型の眼がある。一つは多くの無脊椎動物の眼であつて視細胞の感杆は光の入ってくる方向に向いている。他の一つはプラナリヤ、ヒル、ホタテガイなどの例外的無脊椎動物と、すべての脊椎動物の眼であつて、感杆は光の来る方向と反対の方向に向いている。感光物質は視細胞の内節に分布しているし、細胞の基部には神経細胞の層がある。それ故に脊椎動物型の眼では第15圖で示すように、視細胞は光の来る方向にお尻をむけていることになる。つまり光は神経細胞層と視細胞基部を通り抜けて、初めて先端部にある感光物質に達することになる。これ

は奇異なことであるが理由は判らない。

2. 視細胞の二型. 薄暗さに慣れた人間の眼は可視線のうちで  $5100 \text{ \AA}$  の波長の光に最もよく感じる。また明るい光に慣れたものは  $5550 \text{ \AA}$  に最もよく感じる。この現象は発見者の名にちなんで、Purkinje (プルキ



第16圖 各波長光線に対する眼の感度 (Pincussen)  
—— 薄明所. ----- 強明所.

ンエ)氏現象と云われている。尤も Purkinje は波長の正確な測定はしなかつた。

いま、魚や蛙の網膜を暗所におくと、黒色素細胞の色素は網膜下底に集まつてくる。

これに強い光をあてると色素は圓錐細胞を取巻く。また薄暗さに感光している眼では、柱細胞が前方にのびて居り、圓錐細胞は後方にある。明所ではこの逆の関係にある。更にウクロ、ネズミなど夜間に活動するものの網膜には柱細胞が多くて圓錐細胞は非常に少い。これに反して晝だけ活動するトカゲ、カメの類には圓錐細胞ばかり持つていて、柱細胞のな



い種類がある。またその他の動物に就いても、夜行性のものには柱細胞が多く、晝行性のものには圓錐細胞が多いことが一般的原則として成立つ。尤もこの原則には例外も多い。また圓錐細胞に含まれている感光物質の光線吸収曲線は明所での眼の感度曲線に一致し、柱状細胞中の感光物質のものは薄明所での眼の感度曲線と一致する。

以上のことから、柱細胞は薄暗い處での視覚に與り、圓錐細胞は明るい處での視覚を司るという結論がでる。これは1866年の昔にM. Schultze (シュルツェ) によつて唱えられたことであるが、現在でも一般の承認を得ていることである。柱細胞の感光物質は $5000\text{\AA}$ の光を最もよく吸収し、圓錐細胞のものは $5600\text{\AA}$ を最もよく吸収する事實は、上の結論を更に裏付けるものである。

又人間の網膜では、その中心部ほど色感覚が大きく、この部分ほど圓錐細胞が多い。従つて圓錐細胞は明處での明るさを感じると共に色を感じる細胞であるという説<sup>1)</sup>もあるが、まだ實驗的證明に不足している。なお一般的にいうと、魚類、兩棲類、哺乳類には柱細胞が比較的多いが、鳥類、爬蟲類には圓錐細胞が多い。

3. 視紅。脊椎動物の暗處に順應した網膜柱細胞には紫赤色の視紅という色素がある。視紅は1842年にKrohn (クローン)<sup>2)</sup>がイカの眼で発見したものであるが、その後、脊椎動物の柱細胞には必ずあることが判つてきた。

魚類の視紅は一般に黄赤色であつて、 $5200-5400\text{\AA}$  即ち黄綠色光線を最もよく吸収する。兩棲類、鳥類、哺乳類の視紅は $5000\text{\AA}$  即ち青綠色線

1) Kries: *Hdhch. norm. pathol. Physiol.*, 12, 1929.

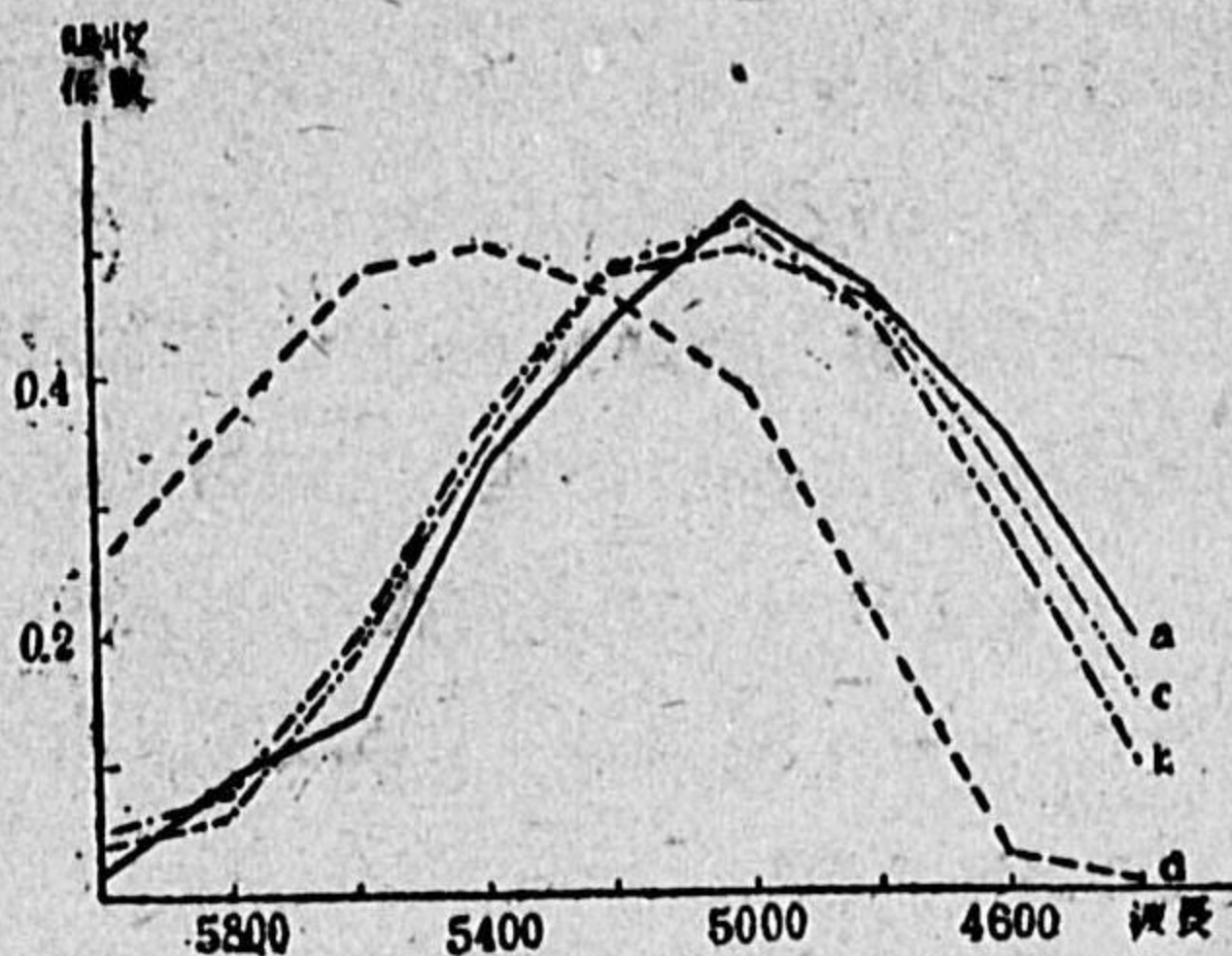
2) Krohn: *Nova Acta Leop.* 19, 1842.

を最もよく吸収する。併しこの吸収極大値にも例外は多く、同じカエルでも夏は $5080\text{\AA}$ であるが、冬は $4800\text{\AA}$ にまで變化する。特に不定なのは魚類の視紅であつて、ホシザメ、ウナギ、サバでは $5050\text{\AA}$ であり、ホウボウでは $5450\text{\AA}$ である<sup>1)</sup>。一般的に云つて淡水魚では波長の小さい所に吸収極大値があるという説もあるが、多くの實例をみると必ずしもそうではない。

$5000\text{\AA}$ に極大吸収値をもつ視紅をロードブシン、 $5200-5250\text{\AA}$ にこれをもつもの、特に淡水魚の視紅を、ポーフイロブシン<sup>2)</sup>と呼びわけることも行われている。

視紅を網膜から分離するには、豫め暗所においた動物から、微弱な赤色ランプの下で網膜を取出し、これを膽汁、膽汁酸鹽、チキトニン、サポニン、油酸ソーダなどの水溶液で抽出する。これらの溶液はいずれも細胞を崩壊させる性質をもつている。

またカエル、サンショウウオ、カメなどの柱状細胞は、たいていのものが視紅をもつているが、視緑という緑色の感光物質をもつているものもある。



第17圖 視紅の吸収曲線 (Trendelenburg)  
a 人. b 兎. c 蛙. d 魚.

1) Bayliss, Lythgoe, Tansley: *Proc. Roy. Soc. London*, 20, B, 1936.

2) Wald: *Nature*, 140, 1937.



視紅は光に敏感に感じて褪色し、黄色を経て無色になる。これを視黄、視白という。Lythgoe (リスゴ) <sup>1)</sup>によると、この視黄には二種類あつて、一つは視紅が光化学的に變つた不安定な移行性視黄であり、他は後者が更に熱化学的に變化して生じた安定な指示薬性視黄である。指示薬性とは、この物質がアルカリ性溶液内で淡黄色、中性溶液内で濃黄色、酸性溶液内でクローム黄色を示すため、水素イオン濃度の指示薬としても使用し得るからである。

視紅を鹽化白金などで化学的に處理しても、また単に熱を加えただけでも黄色になるが、これは上の指示薬性視黄ができたためである。

また Wald (ワルド) <sup>2)</sup>によると、視紅は光で分解するとレチニンというカロチノイドと蛋白質となり、これが視黄に相當する。レチニンは光によつてビタミンAに變る。所謂視白というのは蛋白質とビタミンAの混合物であるという。この説は人々の注目を引いてはいるが、反對する者が多い。

視紅が或る色素と蛋白質の結合物であることには疑いないが、これが如何なる化学的構造をもつているかは判つていない。

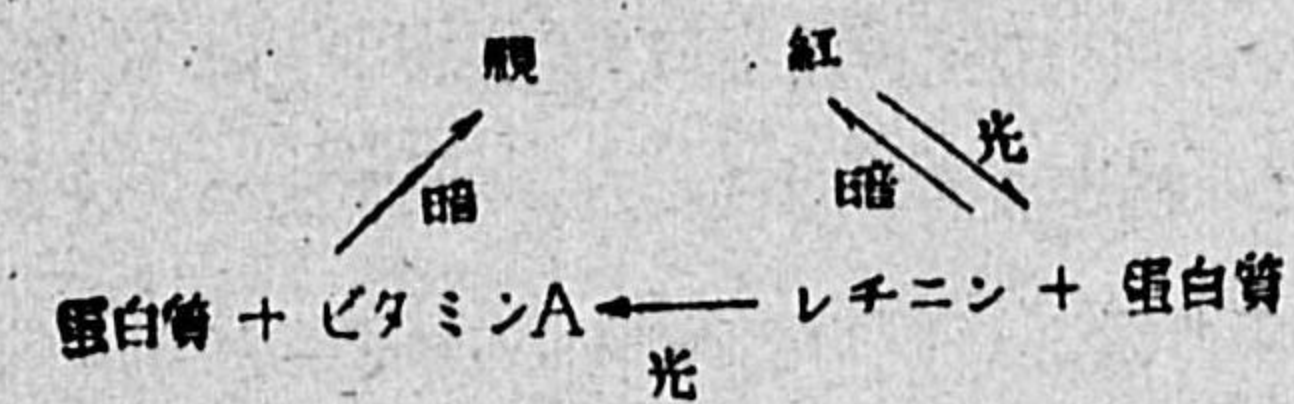
視紅が光によつて視黄に變化すると、この消失しただけの視紅が直ちに再生されなければ眼の感光作用は續かないわけである。ところで光にあつて褪色した網膜を暗所におくと視紅が再生されてくる。このとき網膜だけ分離しておくよりも、網膜と色素細胞層とを共にしておく方が再生し易いという事實がある。また脳下垂體から分泌される黒色素細胞伸張ホルモンを人間の眼に點眼すると、暗さに慣れる時間が短くなる。

1) Lythgoe & Quilliam: *J. physiol.*, 94, 1938.

2) Wald: *J. gen. physiol.*, 19 1936.

また白化動物には網膜色素層を缺いているものがあるが、このような網膜では視紅の再生が非常に徐々に行われる。以上のことは、柱細胞に光があたると、その側壁が色素で取囲まれる事實と共に、視紅の再生には間接にか直接にか色素細胞が關係していることを示すものである。併し現在の處、視紅の再生は、視黄の變化によつて起るとのことだけしか云えず、そのとき如何なる化学變化が起るかは知られていない。

ただ Wald <sup>1)</sup>は、視紅は光でレチニンと蛋白質に分解されること、レチニンは光でビタミンAに變化すること、光に露出した網膜のビタミンAは著しく少いが、暗處に順應させたものには多いことの三實驗的事實から、視紅の再生を次のように考へている。即ち視紅は、レチニンと蛋白質とからも、ビタミンAと蛋白質とからも合成される。



併し Wald の説の弱點は、ビタミンA とレチニンとの増減が平行しているから兩者に直接の關係があるとする點である。殊にこのレチニンがビタミンAになるということは多くの人から反對されている。

4. 夜盲症とビタミンA. 正常の網膜がビタミンAを多量に含み、夜盲症のものは殆んど含んでいないことは事實である。また夜盲症がビタミンAで治ることも事實である。従つて視紅とビタミンAとは何かの關係をもつているに相違ない。この點から上に擧げた Wald の説は適切のように見えるが、實驗的に弱點をもつていることは上に述べた通りである。

1) Wald: *J. gen. physiol.*, 19, 1936; *ibid.*, 21, 1938; *ibid.*, 22, 1939.



そこで別の立場から Granit (グラニット)<sup>1)</sup> は次の実験をした。柱細胞が感光すると神経刺激が起つて、これは視神経を通つて脳の方へ傳はつてゆく。この刺激を視神経で捕えて電流としてその強さを測定すれば、柱細胞に起つた感光度の強さを知ることができる。即ちこの電流の強さと、視紅の感光度と、視紅の分解される量とは大體比例して増減する筈である。ところが光の強さをいろいろ變えて実験してみても、電流の強さは1のときも  $\frac{1}{3}$  のときも、残つている視紅の量には殆んど變化がみられない。このことは、感光に利用されるのは柱細胞内に含まれている視紅の極めて僅かな部分だけで、残りの大部分は、貯藏されていることを示すものである。つまり細胞の表面で視紅の活性化が行われ、この賦活された僅かな視紅だけが感光する力をもつてくる。ところでビタミンA 缺乏食で実験的に夜盲症を起させると、柱細胞の表面に角質化の變性が起る。Granit はこの細胞表面の變性のために、同部に於ける視紅の活性化が妨げられるという説をだした。夜盲症とビタミンA との関係はなお研究の餘地の十分あることであるが、これに関する現在の知識はこの程度である。いずれにしても多量のビタミンA とB とが網膜に含まれていることは事實であり、このビタミンの意義を明かにすることは網膜内の諸現象を知る上にも重要なことである。

5. 圓錐細胞物質。圓錐細胞にも視紅のような水溶性感光物質があるかということは、種々論議されているが、細谷氏等<sup>2)</sup> はクサガメからこれを抽出した。この感光物質の吸収曲線は  $5700\text{\AA}$  と  $4700\text{\AA}$  とに高まりをもち、光線照射後には  $5700\text{\AA}$ ,  $4600-4700\text{\AA}$  の二箇所到低まりを生じる。

1) Granit: *Nature*, 139, 1937; *J. physiol.*, 88, 1937; *ibid.*, 89, 1937.

2) 細谷, 沖田, 阿久根: *Tohoku J. exp. Med.*, 34, 1938.

また Studnitz (シュツッ ドニツツ)<sup>1)</sup> は歐洲産ヘビからエーテル可溶性の感光物質を抽出した。この中には三種の感光性物質が混在していて、それぞれの吸収極大値は  $5550\text{\AA}$ ,  $4680\text{\AA}$ ,  $6550\text{\AA}$  にあるという。

一體、圓錐細胞の感光物質は視紅や、後に述べる有色油球に妨げられて見別けにくい、圓錐細胞ばかり含んで、柱細胞のない網膜から上のようにして抽出したものは紫色乃至青色であるので、視青と呼ばれることもある。

視青も光によつて褪色し、また暗所で再生されることは視紅と同じであるが、その反應機構に就いては知られていない。

6. 有色油球。動物によつては、圓錐細胞の内節中に有色の油球が含まれている。赤色のものをロードファン、黄橙色のものをクサントファン、緑色のものをクロロファンという。鳥類は一般にこれをもつているが、その他、カエル、カメ、トカゲ、カモノハシなどにもある。哺乳類、硬骨魚類、有尾兩棲類は一般にこれを欠き、ヒキガエル、ワニ、ヘビももつていない。鳥類のうちでは晝間活動するものは赤色、黄色の油球を、夜間活動するものは青緑色の油球を多量に含むものが多い。併し一動物一色と定つているものでなく、トカゲのように一つの網膜の中に、橙赤、青、クローム黄、黄、黄緑色と數種の油球を含んでいるものもある。

これらの油球の作用に就いては確かな實驗的事實に基いた説はない。併し昔から云われている主なことは、遮光障として役立つという考案と、視青の再生に關與しているという説である。明所に順應した眼の圓錐細胞には、暗所に順應したものよりも、少數の有色油球が含まれている。また前者の油球は色が濃く後者のものは褪色している。こうしたことから

1) Studnitz: *Pflügers Arch.*, 239, 1937.



色素細胞内の黄金色油球が圓錐細胞へ移行すると唱える者さえある。

7. 無脊椎動物の眼の感光物質. イカは視紅が初めて発見された動物であるが、同じ頭足類でもタコの視紅は極めて微量しかなく、その上、視細胞間の褐色色素が妨げとなるため昔はタコには視紅がないとされていた。併し測定が精密となるにつれて、タコでも視紅の存在は確かめられた<sup>1)</sup>。

暗所においたカタツムリの網膜には光に敏感な紫色色素があり、光で褪色しても暗所で再生する。これはチギトニ溶液で抽出することができる。

その他、無脊椎動物の網膜からは多くの色素が報告されているが、その多くは光に不感であるか、又は感光するや否やが不正確なものである。併しこれらの眼にも何等かの感光性物質があることであろう。これが検出は将来に俟たねばならない。

8. 視細胞の伸縮と黒色素の移動. 前節にも一寸述べたように、大抵の動物の眼では、光の強さが變化するに伴ひ、視細胞の伸縮と黒色素の移動とが起る。脊椎動物の網膜では、光の影像ができるのは外限界膜(第14圖)の層である。そして視細胞が光を攝取するには、その内節(第14圖)がこの外限界膜の面になるべく近ずいてゐなければならない。光の強弱によつて視細胞が收縮した場合には、その内節の基端が外限界膜の層に近ずいており、伸張した場合にはこの層から遠く離れている。この伸縮は細胞の筋様節(第14圖)の伸縮によつて行われる。この節は筋肉のように偏光性の不均一性物質を含んでいないので眞の筋肉ではない。

カエルやキンギョが薄暗い所で見ているときは、外限界膜に近い層は

1) Studnitz: Z. vergl. Physiol., 19, 1933.

柱細胞の内節ばかりで占められており、圓錐細胞の内節は後方に退却している。このとき黒色素は網膜の底の層に集つている。つまり柱細胞内節の層、圓錐細胞内節層、色素層の順に前から後に列んでいることになる。明所で強い光の下に物を見ているときは上の逆であつて外限界膜に近い層は圓錐細胞内節で占められ、柱細胞内節は後方に退き、色素は前進して圓錐細胞内節を取り巻いている。

光の強弱によつて二種類の視細胞が伸縮することは、各々に含まれている感光物質の感光性質から了解できることである。併しそれに伴う色素の移動は如何なる意義を持つてゐるものであろうか。これに對しては種々な説が提出されておるが、最も支持者の多いのは圓錐細胞の側壁が色素で囲まると、光が圓錐細胞と柱細胞とに、同時にはいるのを防ぐことができるという考えである。まず圓錐細胞の内節は茄子型にふくれているものが多いので、これにあつた光は、とかく周圍に反射され易く、この反射光は近所の圓錐細胞にもはいることになる。それに柱細胞の内節は長いから、強い光の下でいくら柱細胞が後方に收縮したといつても、その内節の一部は圓錐細胞の内節と混在しているものもある。こういう状態の處へ光があたれば、その大部分は圓錐細胞にはいるにしても、一部分は柱細胞にもはいるから、視像が不鮮明になる。

若し以上の説が正しいならば、トカゲとかカメとかの中で圓錐細胞ばかりしか持つていない種類では色素の光による移動は起らない筈であるが、實際しらべてみても移動は殆んどなくて、明所でも暗所でも色素は圓錐細胞の側壁を取り圍んでいる。また圓錐細胞は伸縮するにはするが、その程度は非常に弱い。

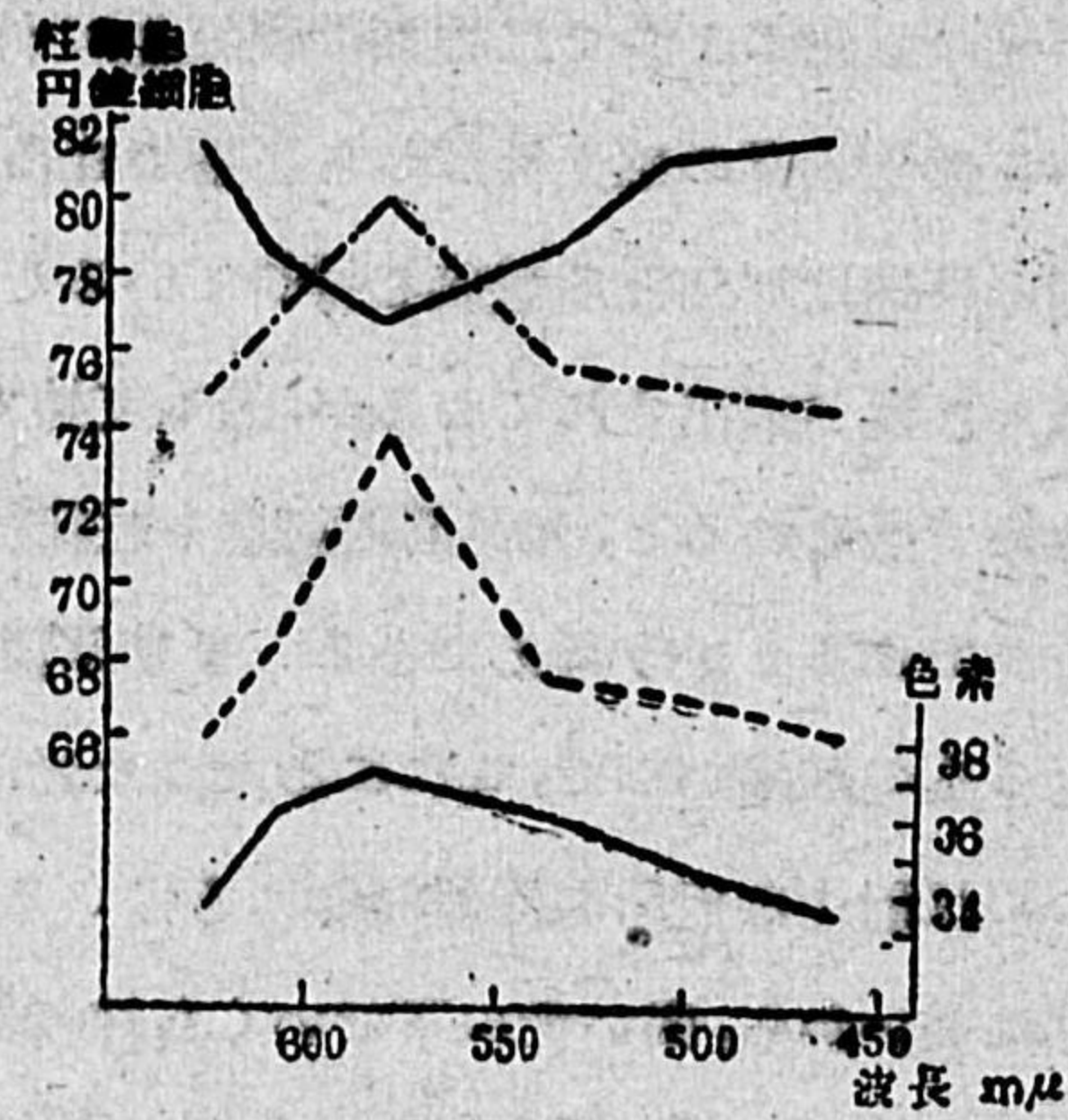
このように兩棲類や魚類では、視細胞の伸縮と平行して色素の移動が



起る。併し同じく二種類の視細胞をもつていても、ウサギ、ネズミ、ウシなどの哺乳類では圓錐細胞の伸縮と色素の移動とは殆んど認められない程度に微弱であり、モルモットでは柱細胞の伸縮と色素の移動とは全く起らない。こうした例外も中々多い。

視細胞の伸縮と色素の移動の原因は何であるかという問題がある。この原因は光であり、波長の差によつて、その影響のしかたも異なることは、

第18圖のカエルの実験結果が示す通りである。ところでカエルの圓錐細胞には大きなずんぐりした形で、伸縮の度の弱いものと、小さくて伸縮の度の強いものがある。この圖でも判るように、この二種類の圓錐細胞はもとより、柱細胞も、色素も、皆一致して5800Åあたりの波長の光で最もよく運動する。つまり、四種類の運動は何か一つの共通な原因で起つてることが想像される。



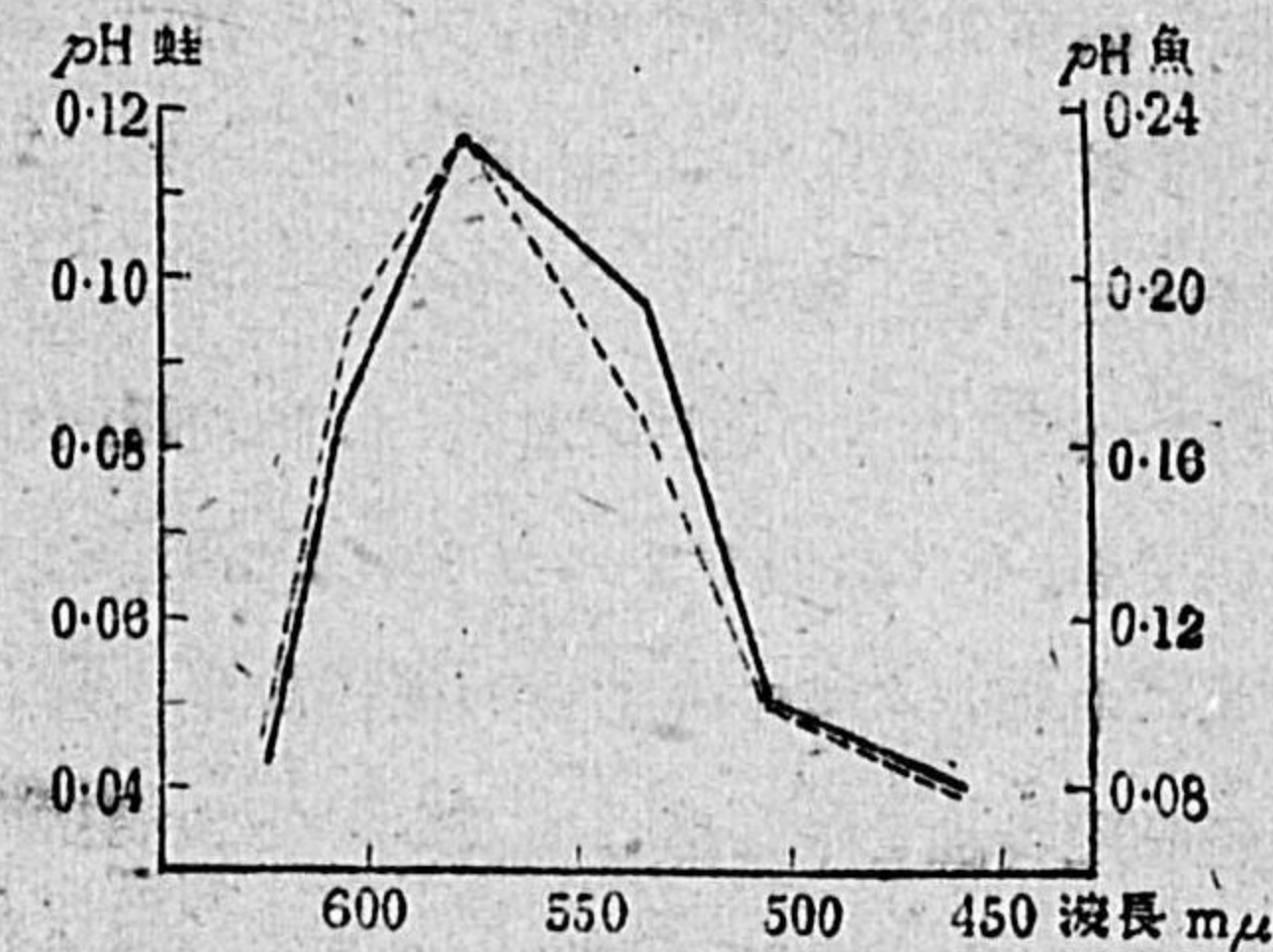
第18圖 暗順應せるカエルを光にあてたときの視細胞の運動と色素顆粒の移動(Nover)。縦軸は外限界膜までの比較距離を示す。横線上より 柱細胞、圓錐細胞I、圓錐細胞II、色素粒。

この原因をつきとめるために、次の実験<sup>1)</sup>が行われた。先ず網膜の一部だけを光にあてると、その部分の細胞だけに上述の運動が起るが、時間のたつと共にその周囲の細胞も運動を起す。この事實から光によつて

1) Dittler: Pflügers Arch., 120, 1907.

何か水溶性の作用物質が網膜内で作られることが想像される。そこで網膜を切りだして水に浮かし、強い光をあてて圓錐細胞を収縮させた後に、この水を、豫め暗順應して圓錐細胞が後退している網膜にかけてみると、やはり圓錐細胞は収縮して前進する。ところで網膜に光があたると、多量の磷酸とアムモニヤが出来ることが知られている。従つて上の實驗で確かめられ水溶性の作用物質には、酸とアルカリとが関係しているかも知れない。そこで豫め十分暗順應しているキンギョ<sup>1)</sup>に磷酸の皮下注射をすると、暗所においたままでも、恰かも明所においたキンギョと同じく、圓錐細胞は収縮を始めて前進し、色素はこれを取圍んでくる。逆に豫め明順應したものに苛性カリを注射すると、圓錐細胞と色素の位置は暗所に於ける網膜の場合と同じになつた。そしてこの酸は鹽酸でも硫酸でもよく、アルカリは苛性ソーダでもよい。また光によつて網膜に生成される

酸の量を各波長の光に就て測定すると、5800Åあたりの光で最も多量の酸ができることは第19圖に示す通りである。以上によつて、視細胞と色素との運動は網膜の水素イオン濃度で決せられることが結論される。



第19圖 各波長の光による網膜の磷酸生成(Nover)。——蛙。.....魚。

併しこの水素イオン濃度の他に視細胞運動を支配するものは、神経刺

1) Studnitz: Zool. Jb. Physiol., 54, 1934.



載である。キンギヨ<sup>1)</sup>の動眼神経、滑車神経、外旋神経は圓錐細胞の伸縮と色素の移動とを共に抑制し、視神経はこれらを促進する。カエルでは動眼神経と外旋神経とは上の運動を促進し、滑車神経はこれを抑制する。

網膜色素細胞も皮膚にある黑色素細胞の一種であるから、脳下垂体ホルモンの影響を受ける可能性がある。併し今までの実験結果では、カエルやキンギヨでは脳下垂体を除去しても、脳下垂体ホルモンを注射しても圓錐細胞と網膜色素との運動には何等の影響はみられていない。

従つて結論されることは、視細胞と網膜色素との運動の直接原因は水素イオン濃度の變化であり、神経刺激は補助的であることである。併し網膜の酸性度の變化は當然その部に於ける物質交代の結果であるから、網膜の物質交代が光によつて如何なる影響を受けるかということが、更に大きな問題となる。

9. 網膜の物質交代。網膜に起る著しい物質交代は磷酸とアムモニヤとの生成及び解糖作用である。特に初めの二つは光によつて大きな影響を受ける現象である。

(1) 磷酸生成。網膜に限らず、動物体内で酸なりアルカリなりが生成されても、それが酸やアルカリのまま放置されておることは少く、生成と共に中和されて中性に近い鹽になる。従つて体内の水素イオン濃度は大體一定の値を中心にして、極めて狭い範囲で變動しているわけである。光に照らされた網膜が酸性になるといつても、 $pH$  7.0位であつて、暗所では7.3位である。

生きたままで眼に光をあてると、網膜にできた磷酸は硝子液の中に排出される。この磷酸生成は圓錐細胞の收縮に伴ふものであり、磷酸クレ

1) Wigger: *Pflügers Arch.*, 293, 1937.

アチンと磷脂質との分解に基くものと思われる。カエルの網膜だけ切りだしても光で磷酸が生成されるが、このとき網膜と色素細胞層とをくつついたままにしておくと、生成された磷酸の一部は、再び元の化合物に合成しかえされて消失する。

(2) アムモニヤ生成。カエルの暗順應した網膜は0.7mg%のアムモニヤを含んでいるが、これに光をあてると、5mg%のアムモニヤを含んでくる。このアムモニヤはアデニール酸がアムモニヤとイノジン酸とに分解するに基くもので、暗處では生成されたアムモニヤの一部は再び他の物質の合成に使われる。また網膜では解糖作用が起ると多量のアムモニヤが生成されるが、酸素下解糖作用のときの方が、無酸素下解糖作用のときより生成量が大きい。

(3) 解糖作用。葡萄糖から乳酸が生成されることを解糖作用と云い、動物体内で炭水化物が利用される反應のうち最も重要なものである。これには酸素の存在の下に起るものと、無酸素の条件下に起るものとある。一般に正常な動物組織は無酸素解糖作用はしても酸素下解糖作用は殆んどしない。併し網膜は腫瘍細胞と同じく、この兩種の解糖作用を旺んにするばかりでなく、他の正常な体内組織と比べて桁はずれに大きな無酸素下解糖作用をする。この現象はいろいろな意味で多くの研究者の注意を引いているが、これを初めて発見したのは Warburg<sup>1)</sup> である。この解糖作用は光から直接の影響は受けまいようである。

1) Warburg: *Bioch. Z.*, 184, 1927.



## 第6章 光とビタミン・ホルモン

Effect of the light upon vitamins and hormones.

第3章で述べたように、生物体内にある物質には、これを体外に取り出して、純粋に分離すれば、光化学的変化を受けるものは非常に多い。併しこうした物質でも、体内にあるときには、蛋白質その他の物質と安定な化合物又は不安定な複合体を作つていて、光の影響をまぬかれているものが多い。ビタミンやホルモンもこの例にもれず、体外にとり出して純粋にすると光によつてその生理的作用を失うものは甚だ多い。卵巣濾胞ホルモン、胎盤ホルモン、アドレナリン、ビタミンA, B<sub>2</sub>, C, Dの如きもその例で、卵巣ホルモンはこれを抽出するにも赤色光の下で行わないと操作の間に大半を失つてしまう。併し体内でこれらのホルモンが作っているときは、たとえその動物が青色光のもとに居ても、著しい損失を受けることはない。そこでこの章では、動物体内でも起る光化学的変化と関係あるものだけを取扱うことにする。

1. ビタミンD. ビタミンDがエルゴステリンの紫外線照射によつてできること、エルゴステリンは植物性ステロイドで、動物はこれを合成することができないこと、ビタミンDは食物の一要素として動物体に攝取されるが、体内でも亦エルゴステリンと紫外線とによつて作られること、またこのビタミンは体内のカルシウム量を調節すること、これが缺乏すれば骨のカルシウム沈着が少なくなつて、佝僂病などが起ることは、人のよく知つてのことである。クル病になると骨のカルシウム沈着が足りないために、手足などの骨が彎曲し、また關節が十分に出来なために立つ

ことさえ出来なくなる。昔から歐洲では小兒や家畜家禽のクル病が日光の不足する地方に多いことが注目されてきた。英國の南端でさえ北緯50°であり、特に北歐諸國の冬は曇天が多く、冬の間の日光の不足はわれわれ日本人の想像以上である。尤もわが國でも北陸地方の冬は曇天が多く、クル病患者は相當數で起る。

(1) 研究の歴史. クル病の治療に日光浴や人工光線浴が用いられたのは四十年前からであるが、紫外線療法が確立したのは1919年 Hukdschinsky (フルジンスキー)の報告以來であるという。一方では1918年 Mellanby (メランビー)などによつて光線の問題とは全く離れて、溶油性ビタミンが缺乏するとクル病が起り、これを興えると回復することが知られていた。ところが1923年 Hess (ヘス)及び Weinstock (ワインシュトック)は紫外線照射をした食物がクル病に有效なことを見出したため、ここに今まで別々の道を歩いてきた光線説とビタミン説とが合流し得ることになつた。この時以來ビタミンDの研究は急速に進歩した。ドイツの Windaus (ウインダウス)の業績はこれに最も大きな貢献をしたといつてよい。

研究の初めには、ビタミンDの母體は動物体に多量にあるコレステリンであると思われていた。それはコレステリンを紫外線照射すると抗クル病性の物質が得られたからである。併し後になつて今迄實驗に使つていたコレステリンは、十分に純粋にされていなかったことが判り、紫外線照射によつてビタミンDに變化するものはコレステリンと混つて存在するエルゴステリンであることが確められた。

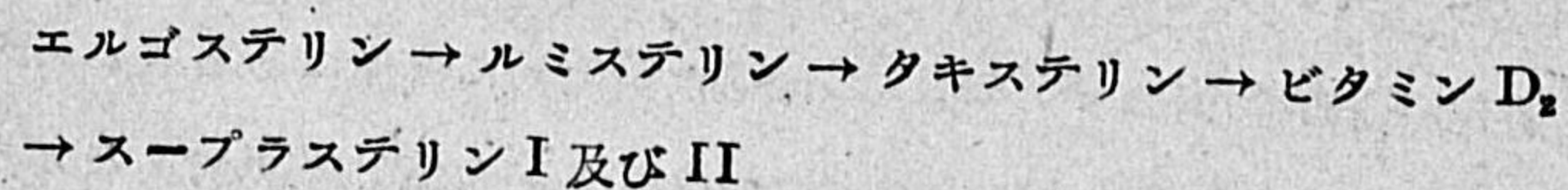
(2) ビタミンD<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>. エルゴステリンは植物體で合成されるもので、動物は食物として攝取して初めてこれを体内に保持することができる。



蒸気中でも酸化する不安定な物質であるが、波長 2980, 2810, 2690, 2600 Å に吸収極大値をもち、8100 Å 以下の紫外線を吸収する。冬の曇天などには地上の太陽光線中には、この程度の短波長のものは殆んどなく、この季節の日光はエルゴステリンに作ることは極めて少ないわけである。

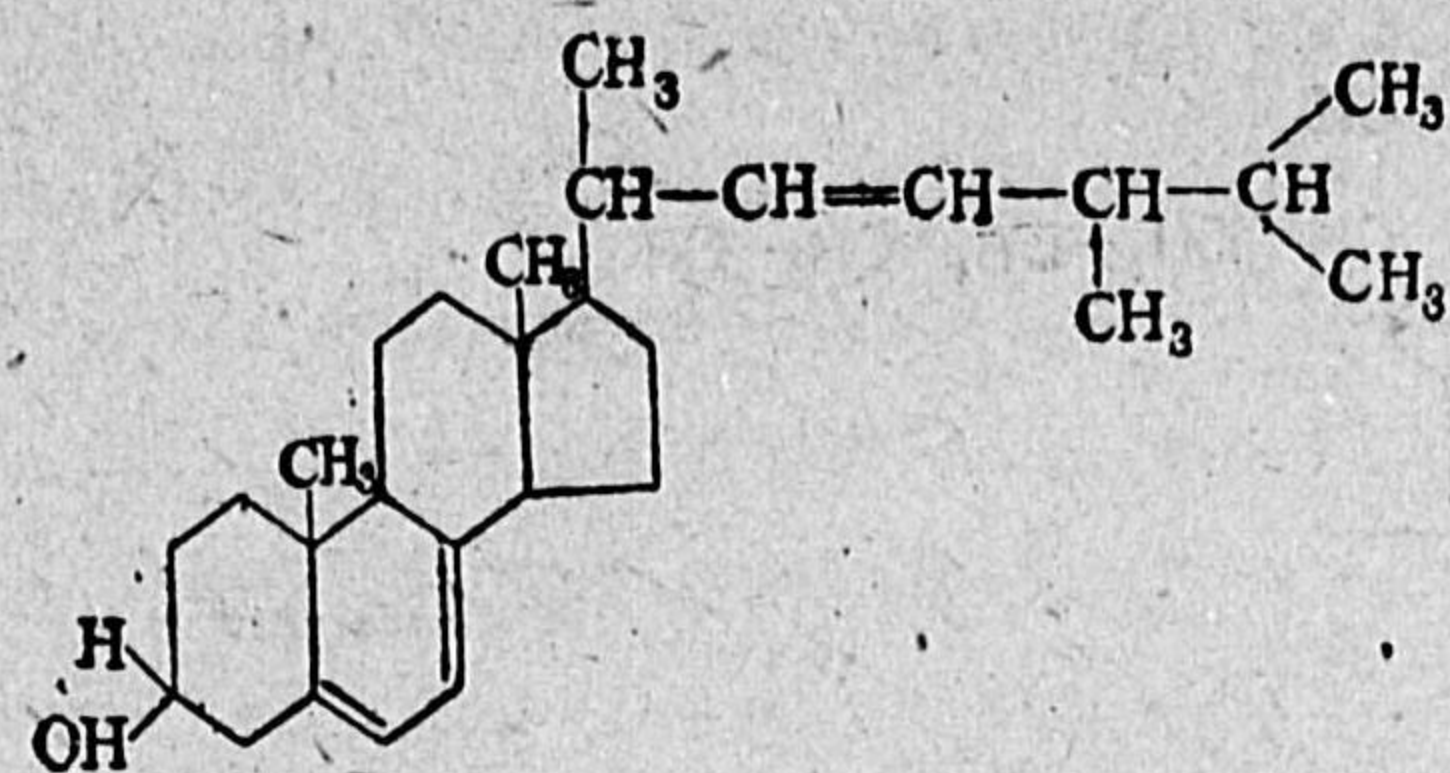
エルゴステリンを完全な無酸素の状態、紫外線照射すると、ビタミン D<sub>1</sub> ができ、これは結晶として取り出すことができる<sup>1)</sup>。この D<sub>1</sub> の結晶はビタミン D<sub>2</sub> とルミステリンとの分子複合体であつて容易に分離することができる。D<sub>1</sub> と D<sub>2</sub> には抗クル病効力があるが、ルミステリンにはない。即ち眞のビタミン D とは D<sub>2</sub> である。またエルゴステリンの紫外線照射物を真空蒸溜して舊カルシフェロール<sup>2)</sup> という抗クル病物質がイギリスでとられているが、これは上の D<sub>1</sub> と同じものである。これも容易に分解させて新カルシフェロールとステリン X とに分けられる。前者は D<sub>2</sub> と、後者はルミステリンと同じ物質である。こういうわけでエルゴステリンはプロビタミン D<sub>2</sub> とも云われる。

エルゴステリンを紫外線照射すると、次の段階を経て D<sub>2</sub> ができるが、D<sub>2</sub> も亦紫外線照射で無効物質に分解してしまう。

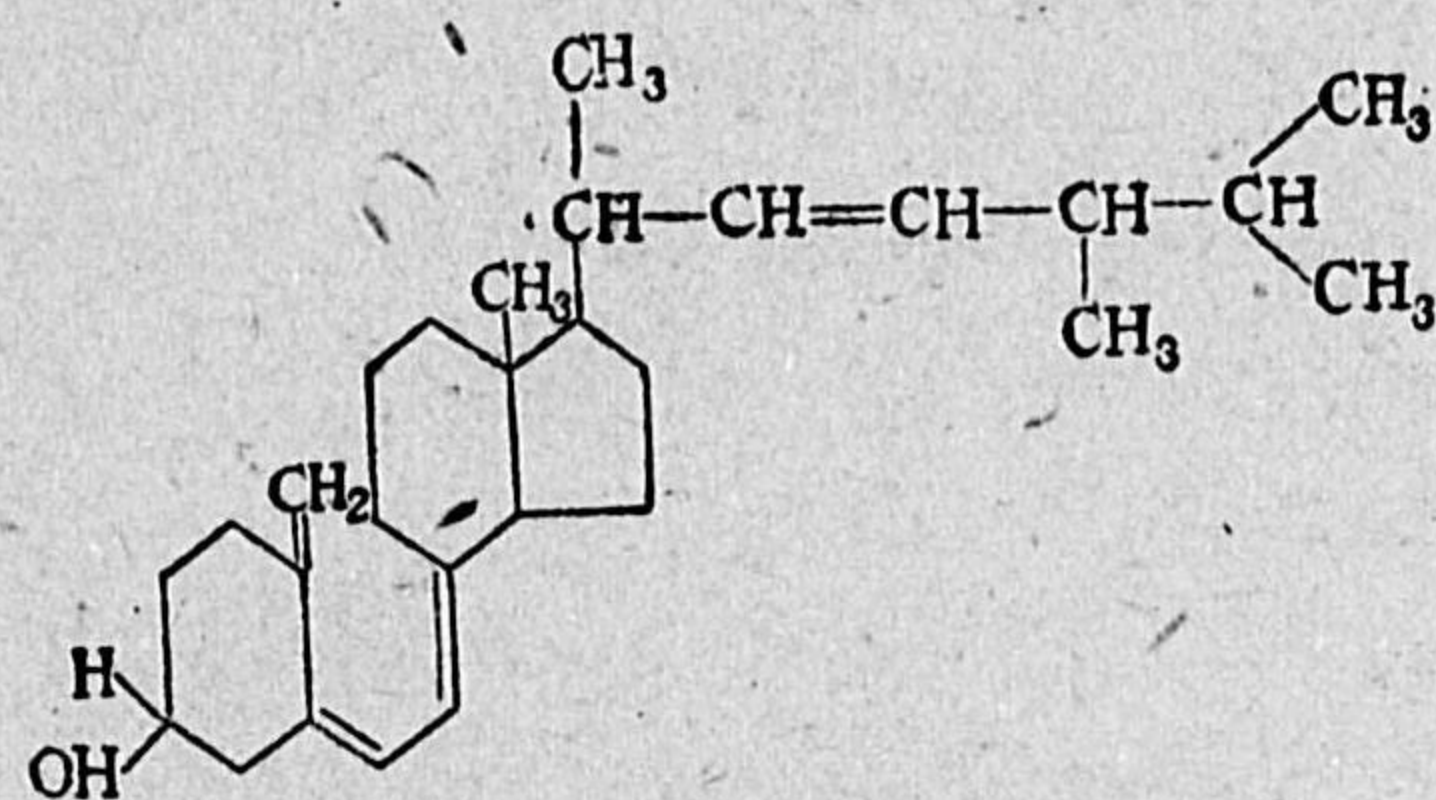


この D<sub>2</sub> は自然界にある D と化学的に全く同一物質であると確實には云いきれないが、その諸性質から同じものであるとされている。

1) Windaus & Auhagen: *Hoppe-Seylers Z.*, 196, 1931.  
Windaus & Lüttringhaus: *Liebigs Ann. Chem.*, 489, 1931.  
Windaus の報告は非常に多い。ここには代表的なものを挙げるに止める。  
2) Askew, Bruce, Callow, Philpot & Webster: *Proc. Roy. Soc. London*, B 109, 1932.



エルゴステリン

ビタミン D<sub>2</sub>

エルゴステリンを照射するとき

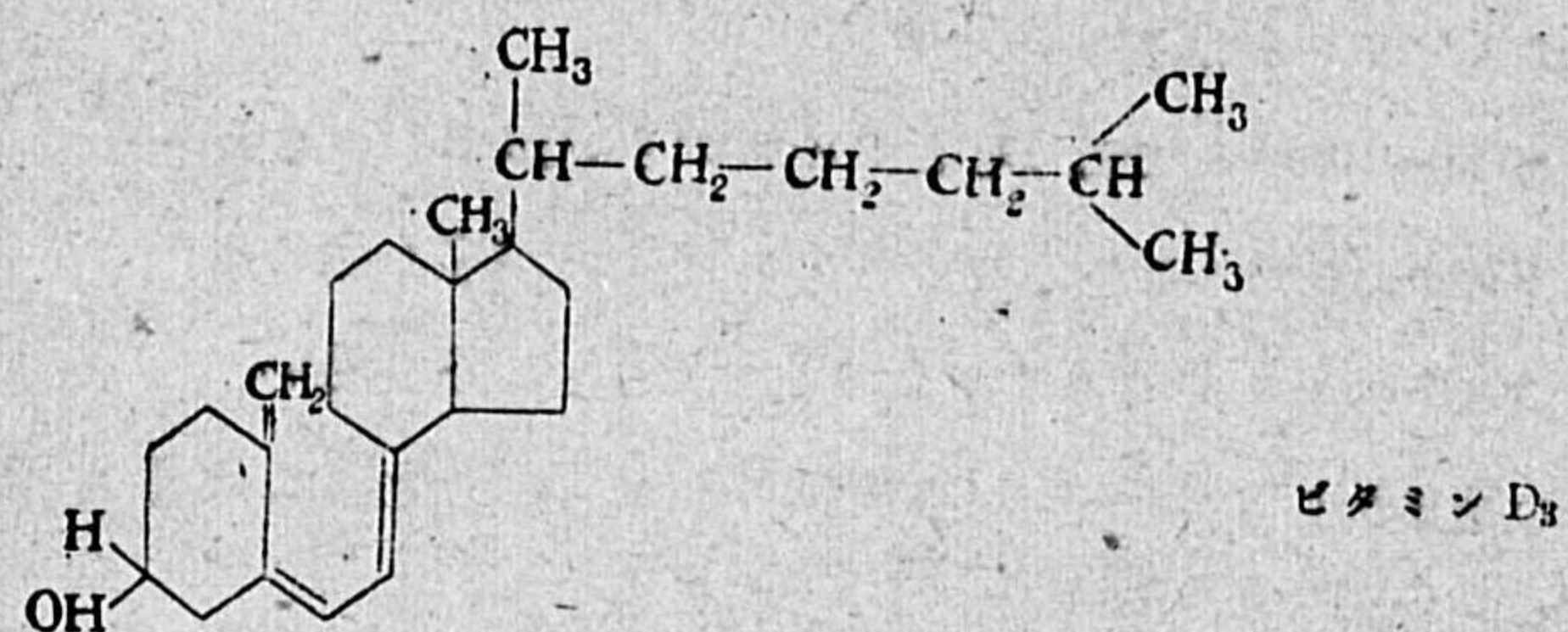
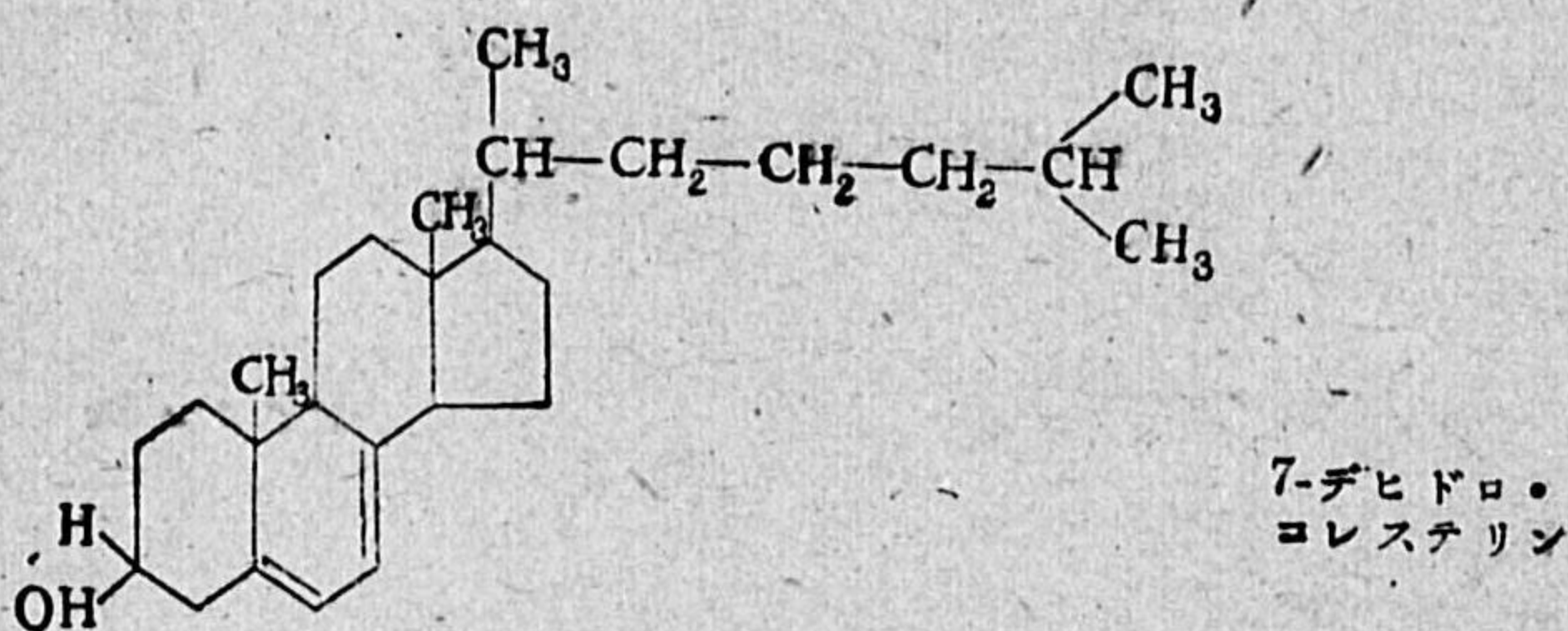
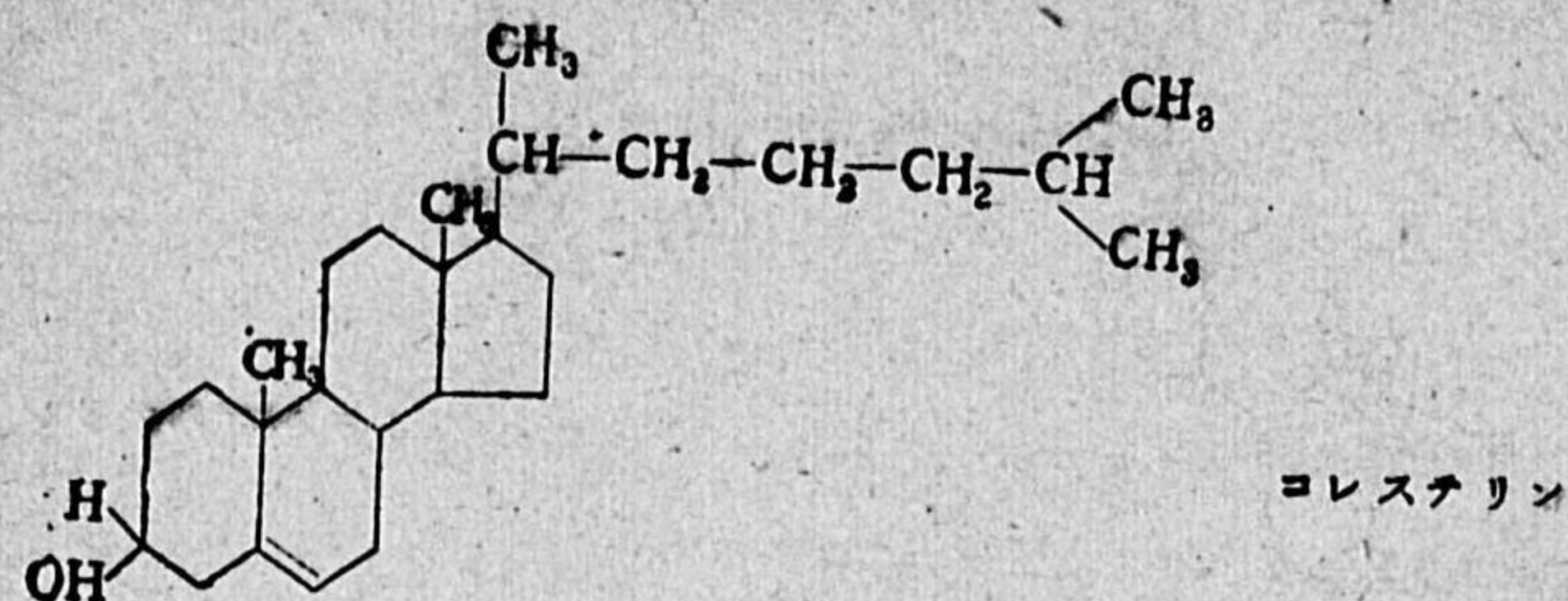
- (a) 2780—2800 Å では D<sub>1</sub> とタキステリンが多く生じる。
- (b) 2800—3200 Å では D<sub>2</sub> とルミステリンが多く生じる。
- (c) 3000—3100 Å ではタキステリンは D<sub>2</sub> に變り易い。

以上の結果から 2800—3100 Å の紫外線が D<sub>2</sub> の生成には最も適していることになる。

(3) ビタミン D<sub>3</sub>. コレステリンを酸化して 7-デヒドロ・コレステリンとし、これを紫外線照射するとビタミン D<sub>3</sub><sup>1)</sup> という抗クル病性物質ができる。

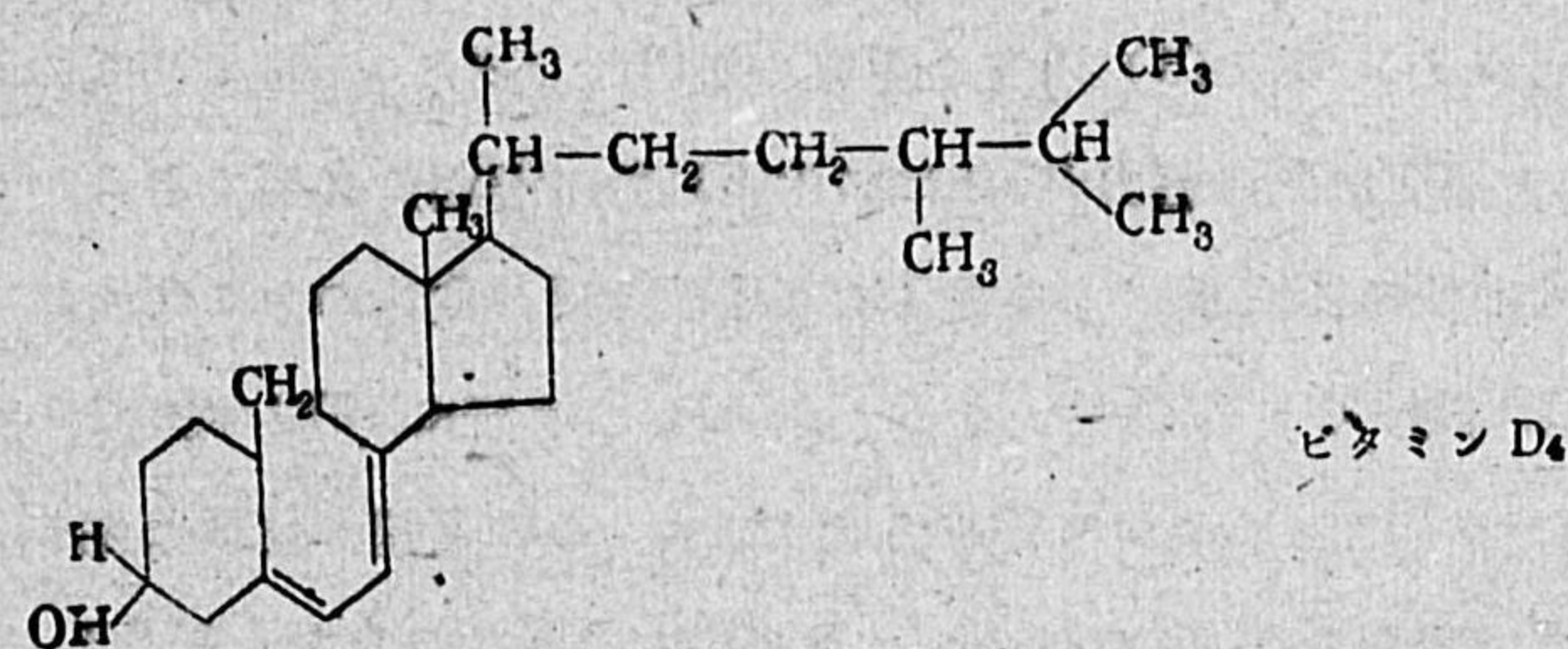
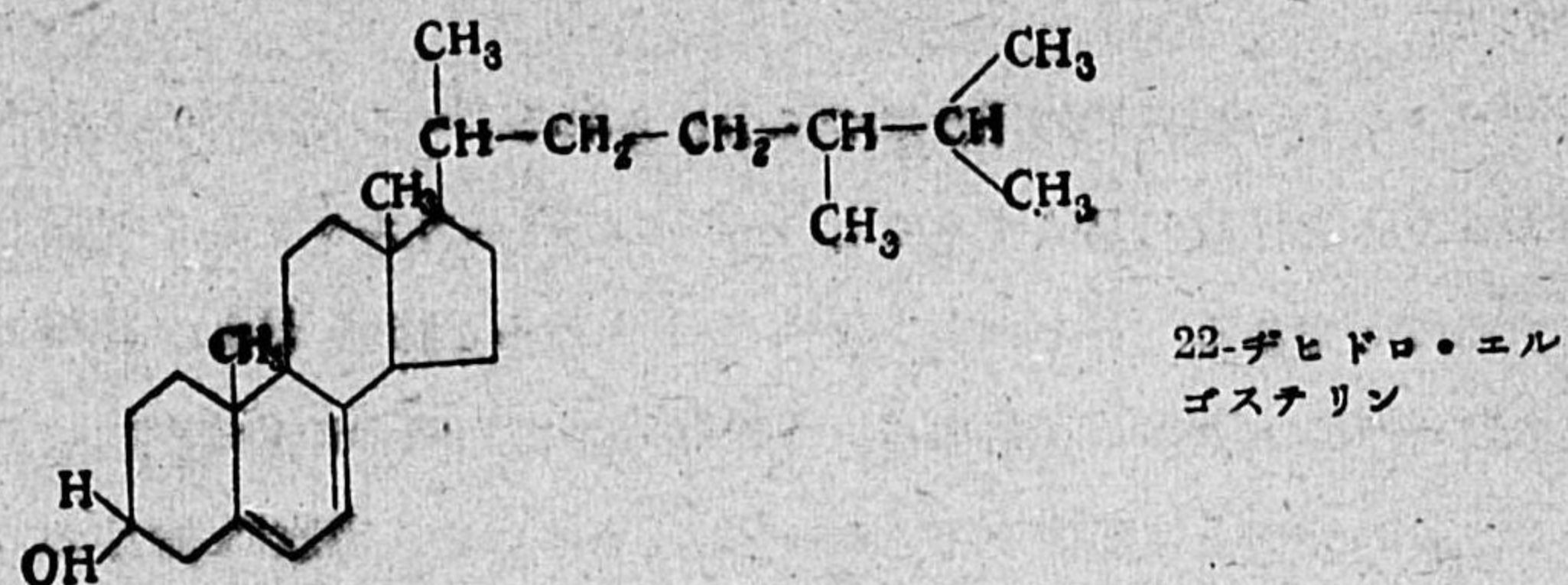
1) Windaus, Lettré & Schenck: *Liebigs Ann. Chem.*, 520, 1935.





(4) ビタミン D<sub>4</sub>. エルゴステリンを還元して 22-デヒドロ・エルゴステリンを作り、これを紫外線照射すると抗クル病性のビタミン D<sub>4</sub> ができる。

1) Windaus & Langer: *Liebigs Ann. Chem.*, 508, 1933.



(5) 体内でのビタミン D の生成. 以上の実験で判るように抗クル病性の物質はエルゴステリンの他にその還元物からも, エルゴステリンの酸化物からもできる. 皮膚にはコレステリンが多量にあり, その中にはエルゴステリンも含まれている. また紫外線は表皮を透過することができる. 従つて動物体内でも日光に照射された皮膚の中で, ビタミン D の合成される可能性は十分ある. その場合に光はコレステリンの酸化やエルゴステリンの還元にも作っているかも知れない. 少なくともクル病が適当な紫外線照射や, 日光浴で治ることは, 体内でのビタミン生成が行われることを示すものである. 併しビタミン D はまた, 食物としても摂取されることを忘れてはならない. 光線の少い深海にすむ魚類が却つて多量のビタミン D を含んでいるのは, 主として食物から供給されるものと思



われる。

● ビタミンDの生理的作用は二つに分けられる。一つは腸壁から体内へカルシウムを吸収し易くすること、一つは組織へカルシウムを沈着し易くすることである。Dとカルシウムが十分あると肺臓、腎臓の組織の如きによつてカルシウムが沈着する。また体内特に血液中に含まれているカルシウムの量が一定限度を下らない限り、カルシウム吸収に對するビタミンDの効果は現われない。

2. ビタミンB<sub>2</sub>. (1) 研究の歴史と作用. ビタミンB<sub>2</sub>の研究の歴史は、異つた研究部門の協力が、如何に生物現象の解明に必要であるかをよく示すものである。ネズミの成長に必要な物質が食物の中に含まれており、これが缺けると成長が止まるということは既に1913年にOsborne(オスボーン)などによつて報告されていた。この系統の仕事は主としてアメリカで研究され、後にビタミン學として發達してきた。そしてこのネズミの成長促進物質をビタミン學ではビタミンB<sub>2</sub>と呼んでいた。

また學界の一方では、ビタミン學と何の関係もなく、呼吸酵素の研究が行われておつた。この立場から黄色酸化酵素がドイツのWarburg(ワールブルグ)によつて酵母から抽出されたのは1932年であつた。この酵素の分解物は可視線にあつて黄緑色の螢光をだすことが知られていた。一方ではまた、生物体内の色素の化學構造を研究する一群の化學者がいた。この人々の研究はビタミンとも生物呼吸とも何の関係なく進められていたが、Ellinger(エリンガー)は牛乳から、Kuhn(クーン)は卵白から一種の黄色色素を抽出して、それぞれ、ラクトフラビン、オボフラビンと名づけたのは1933年であつた。

ところが、ビタミンB<sub>2</sub>も、黄色酸化酵素の分解物も、上の二種のフラビ

ンも、何れも短波長(5200 Å以下)の可視線で黄緑色に螢光するという點では全く一致している。そこでKuhn達によつて、これらの物質の化學構造の研究が始められ、今まで全く関係なく研究されてきたものは皆一つ物質であることが確かめられた。またその合成も完成された。つまりビタミンと酵素と化學色素との別々の流れが一つに合流した。その結果、ビタミンB<sub>2</sub>は黄色酵素ばかりでなく、クサンチン脱水素酵素、アミノ酸脱水素酵素、ディアフラーゼ(水素傳達酵素)等にも含まれて、その作用本體となつていくことが判つてきた。従つてビタミンB<sub>2</sub>は、多くの動物にとつては、單に成長期だけでなく、成長後も日々の生活に必要なものであり、これが完全に缺乏すると、大抵の動物が死ぬ理由も判つてきた。

ビタミンB<sub>2</sub>は動物体内では肝臓、腎臓などに最も多く、牛ではこれらの組織1gに就き10—20rぐらい含まれている。その他網膜で1—5r、肺臓で0.5—1.0r、血液で0.025rなどの數字がでてゐる<sup>1)</sup>。タラは深海に棲んでいるが、その網膜は10—20rを含んでいる。

体内にあるビタミンB<sub>2</sub>は遊離の状態で存在することは少く、その70—80%は蛋白質と結合している。上に述べたディアフラーゼや、酵素のB<sub>2</sub>は元より蛋白質と結合して初めてその作用をすることができるが、その他のものでも多くの場合は蛋白質と結合している。尤も成長促進要素として作るときに如何なる形をしているかは判つていない。

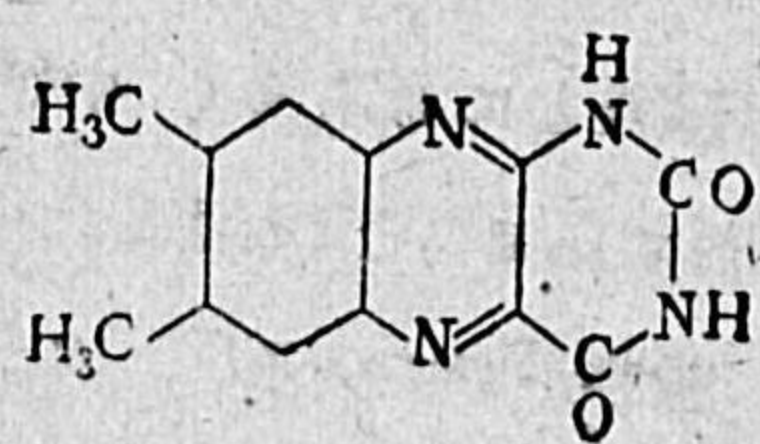
(2) リボフラビンの螢光性と光分解. ビタミンB<sub>2</sub>が、アロキサチン核を中心としてこれに一分子のリボース(五炭糖の一種)と二分子のメチル基の結合した6,7-ジメチル・テトラオキシペンチル・イソアロキサ

1) v. Euler & Adler: *Hoppe-Seylers Z.*, 223, 1933.

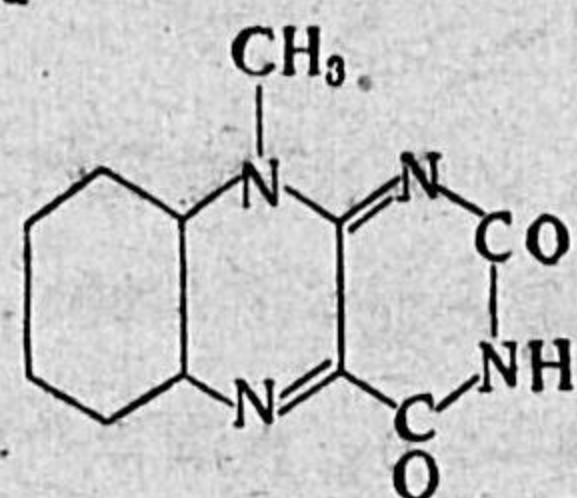


チンであることは第8章に述べた。はじめに牛乳から分離されたからラクトフラビンともいわれ、またリポフラビンとも呼ばれている。

リポフラビンは5200Å以下の光を吸収し、その吸収曲線は2200, 2650, 3650, 3800, 4450 Åに吸収極大値を示している。そうしてこの範囲の光の下では緑黄色の蛍光をだすと共に、中性溶液では光分解してルミクローム<sup>1)</sup>を生成する。ルミクロームは同様な波長の光で中性溶液なれば、青空色の、アルカリ性溶液なれば緑黄色の蛍光をだす。また、リポフラビンをアルカリ性溶液で光にあてると、光分解してルミラクトフラビンを生ずる。これは光で緑黄色の蛍光をだす。



ルミクローム



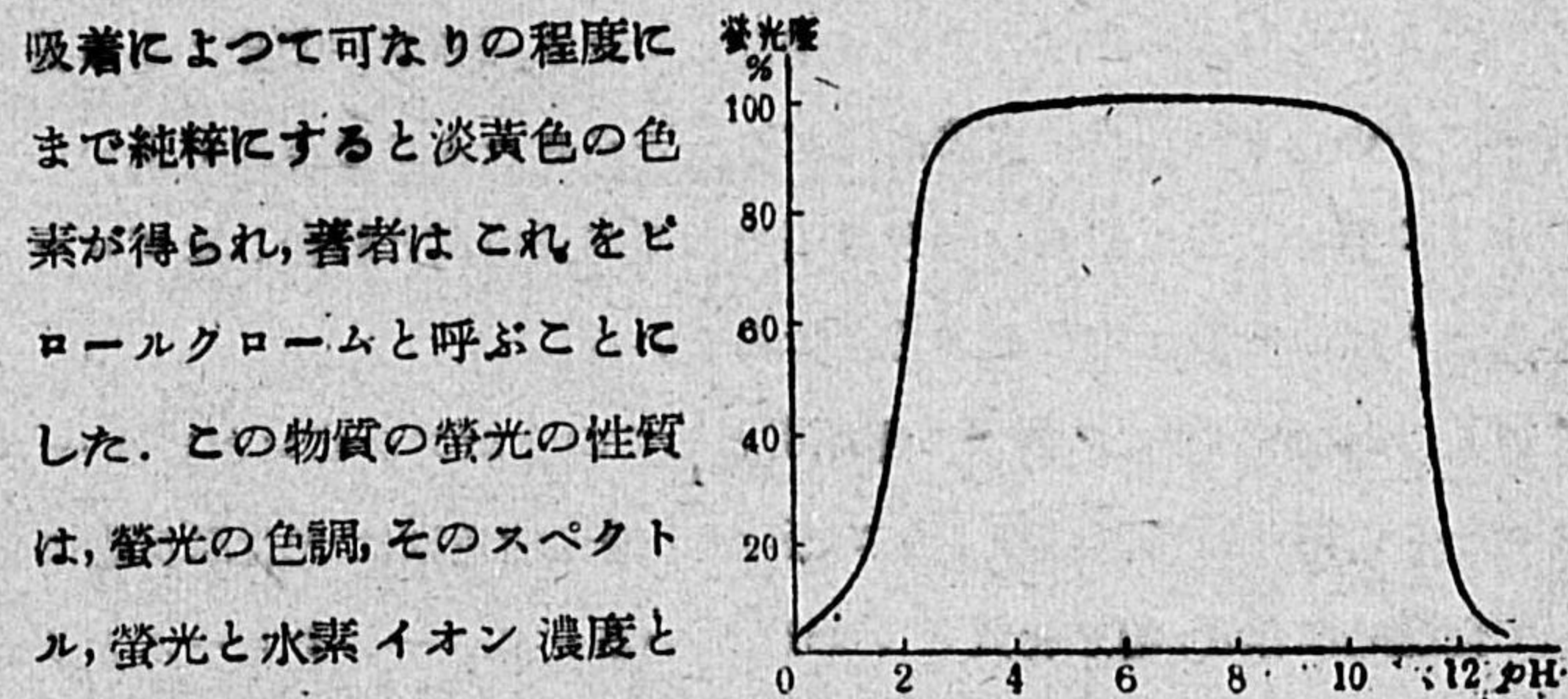
ルミラクトフラビン

このような蛍光性や光分解は、動物体外に分離されたフラビンに就いてみられることで、体内では大部分が他の物質と結合しているため光の影響から守られている。新らしく切り出したばかりの組織に光をあててもそこにあるリポフラビンは大抵の場合蛍光はださない。併し魚や蛙の眼の色素層や網膜の一部のように生きている時でも蛍光を出し得る状態にあるものも相当にある。クラのような薄暗い所に生活している魚の網膜色素層に遊離のフラビンが非常に多いのは、薄暗い光を蛍光にかえて、

1) Karrer et al.: *Helv. Chim. Acta*, 17, 1934.

眼球内を少しでも明るくするに役立ついると考えられる。これは多くの脊椎動物の眼の白輝膜が眼球内の微光をその含むグアニンによつて強く拡散して、明るさを増しているのと似ている。その他兩棲類、魚類の皮膚の黑色素細胞の多い部分には、遊離状態のリポフラビンを含んでいる例が多い。こういう所では微量ながら蛍光も光分解も起り得るわけである

(3) ピロールクローム。同じ兩棲類でもヒキガエルの背中の皮膚は多量のリポフラビンを含んでいるが、トノサマガエルの背中の皮膚には含まれていない。その代り青空色の蛍光をだすピロールクロームが多量にある。尤も大抵の動物の内臓にはリポフラビンがありトノサマガエルもこの例に洩れない。今しばらく皮膚だけに就いて述べることにする。トノサマガエルの背中の皮膚を裏返しにして、可視線の遮光障をつけた紫外線ランプの下におくと青空色の蛍光が美しくでてくる。そうして腹部の皮膚には黑色素細胞もないが、ここは蛍光しない。メタノールで抽出すると、この青空色蛍光性物質をとりだすことができる。減圧蒸溜と吸着によつてかなりの程度に



第20図 ピロールクロームの水素イオン濃度と蛍光度(倉田)

まで純粹にすると淡黄色の色素が得られ、著者はこれをピロールクロームと呼ぶことにした。この物質の蛍光の性質は、蛍光の色調、そのスペクトル、蛍光と水素イオン濃度との関係などルミクロームのそれと似ている點が多く、アロ

キサチン核とピロール誘導體とを含んでいると思われる。併しルミクロ



ームでもなく、またビタミンB<sub>1</sub>の分解物で蛍光するチオクロームでもない。6600Å以下の光にあると強い還元性を示して多くの物質に水素を興える。ピロールクロームはアスコルビン酸、グルタチオンは元よりチスチンのような酸化還元電位の低いものまで動物体内にある酸化還元系物質を還元することができる。

この物質は組織培養した細胞の増殖、ハツカネズミの毛の再生、皮膚の外傷治癒を促進し、イモリの初期発生に神経管の誘導を起させるなど、細胞増殖を著しく促進する作用をもっている。イモリの初期発生に於いて外胚葉誘導物質を含んでいる原口上唇などが遮光障をつけた水銀ランプで美しく青空色に蛍光するのもこの物質のためである。

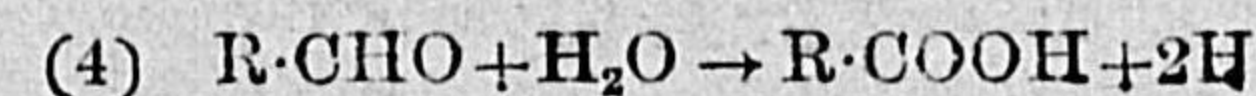
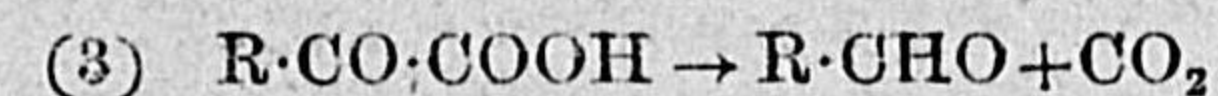
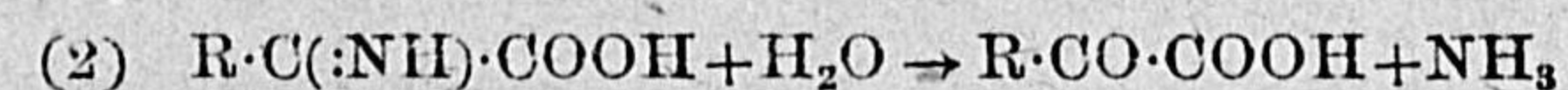
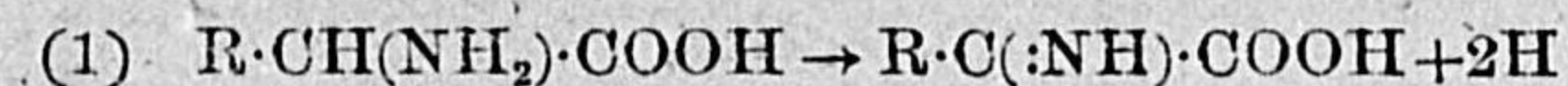
魚類、兩棲類の皮膚をしらべてみると、白色とか無色とかの皮膚にはパラダイスフィッシュのような例外はあるが、リボフラビンもピロールクロームもないのが普通である。これに反して、リボクロームやメラニンを含んだ色素細胞のある部分には、上の二つの蛍光性物質のどちらかがある。元よりその大部分は蛋白質と結合しており、遊離の状態である量は非常に少い。また幼生の皮膚にはピロールクロームのある例が多い。ニワトリの若い幼生の組織は無色透明であるが蛋白質と結合したピロールクローム類似の蛍光物質を多量に含んでいる。

(4) 光化学的酸化に対する増感質としてのリボフラビンとピロールクローム。第3章に述べたように、多くの蛍光性色素は光化学反応に対して促進的に働き、増感物質といわれている。ピロールクロームとリボフラビンも蛍光性である以上、増感的に作用するに相違ない。

著者はこの豫想を確めるために次の実験を試みた。ドーパ(チオキソフェニールアラニン)、チロシン、トリプトファン、ヒスチジンのpH6.8の

水溶液を空気中で太陽光線にあてると、ドーパ溶液は徐々に赤褐色化してくるが、他の三アミノ酸溶液は殆んど着色しない。そこで上の溶液に1mg%の割にリボフラビン又はピロールクロームを加えると、ドーパの着色は著しく促進され、他の三アミノ酸溶液も30分以内に着色してくる。この着色酸化反応は青色光の下でも起るが、赤色光や暗所では起らない。即ち加えた蛍光性物質が蛍光し得る波長の光の存在の下にのみ起る。

上の酸化反応が脱水素的反応であることは、アミノ酸の一般酸化現象から豫想されることである。そこで上の溶液を無酸素にして、遊離してくる水素の受容体としてメチレン青を加えた。つまり上の酸化が脱水素的であれば、この水素でメチレン青は無色になる筈である。但しこのときは蛍光物質としてはリボフラビンしか使えない。ピロールクロームは光にあると自ら水素を放出して他を還元するからである。この場合にも青色光の下では脱水素が起るが、赤色光や暗所では起らない。同様な脱水素的な光化学的酸化はグリコル、アラニン、グルタミン酸、パリン、ロイチン、イソロイチン、ゼリン、メチオニン、チスチン、アルギニン、リジンなどのα-アミノ酸に対しても起る。この脱水素反応は



の(1)と(4)である。またトリプトファンではそのインドール核、ヒスチジンではそのイミダゾール核の裂開に伴う水素も加わっている。

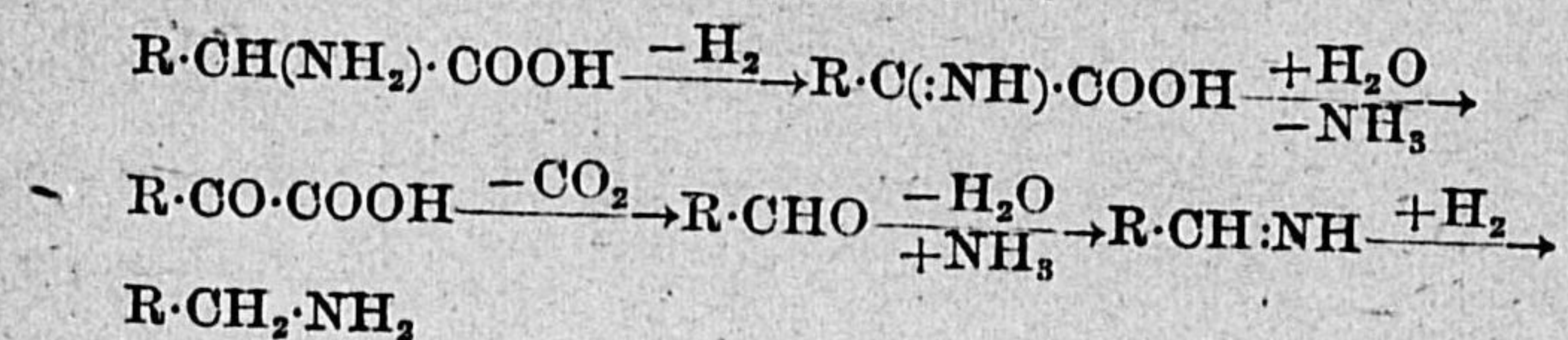
同様な実験をヒポクサンチン、クサンチン、尿酸、グアニン、アデニン、アラントインなどのプリン體、グルコース、ガラクトーゼ、フルクトーゼ、



ソルボゼ、アラビノーゼ、キシローゼ、グリセリンアルデヒドなどの糖類、蟻酸、醋酸、酪酸、油酸などの脂肪酸類、琥珀酸、フマル酸、乳酸、酒石酸、枸橼酸、林檎酸、蓆酸などの有機酸類、オレイン、レチチン、コレステリン、オリーブ油等について行つても光化学的脱酸素反応がみられる。但し尿素、グリセリン、グリセロ磷酸では脱酸素は起らなかつた。

以上の結果から、リボフラビンとピロールクロームは、光の存在の下に生体内に存在する多数の有機化合物を活性化してその光化学的脱酸素的酸化を促進することが判る。而かもこの促進能力は脱酸素酵素の作用にも匹敵するもので、この型の光化学的酸化は、下等な水棲脊椎動物では生体内でも起り得る反応である。

(5) リボフラビン・ピロールクロームとアミンの生成。一般にα-アミノ酸を赤血鹽の如き酸化剤で適度に酸化して、次にこれをチステイン、アスコルビン酸の如き還元剤で適度に還元すると、モノアミンが生じることが、既に報告されている事實である<sup>1)</sup>。



そこで前節に述べたリボフラビンやピロールクロームと光とによるアミノ酸の酸化反応系に於いても、これに適當な時期にチステインを加えれば、アミンが生成されることが豫想される。著者はこの實驗によつても、チロジンよりチラミン様物質、ドーパよりオキシチラミン様物質、トリプトファンよりトリプタミン様物質、ヒスチジンよりヒスタミン様物

1) Guggenheim: Die biogene Amine, 1940.

質の生成されることを、化学反應的にも生理反應的にも確めることができた。この場合、リボフラビンを用いるときは、チステインなどの還元剤を加える必要があるが、ピロールクロームを用いるときには、その必要はない。これはピロールクローム自身が光によつて水素を放出して還元作用をするからである。これらのアミンは毛細血管や細胞膜の透過性と緊張性を支配するもので、特に水棲脊椎動物の皮膚では重要な役目をしている作用物質である。チラミン、オキシチラミン、トリプタミンはアドレナリン酸化酵素と結びついて、これの作用を閉塞する點で交感神経的作用をするものである。またヒスタミン様物質はアドレナリンに拮抗的に働く作用物質であり、平時は他の物質と結合して閉塞されているが、光、熱、機械的刺戟などによつて遊離して、その作用を發揮する。

上の實驗に用いたチステインは第3章に述べたように、蛋白質の變性によつても露出し得るし、またチステインに代るべきグルタチオン、アスコルビン酸などは生体内に常に存在するものである。従つてこの酸化還元反應は生体内でも起り得ると考えられる。

第4章の「色素細胞の生理的意義」の項で述べたように、光が皮膚に對して直接に及ぼす作用の一つとして、かかるアミン生成があることは十分に考えられることである。

なお上の光とリボフラビンとによる酸化作用がメラニン色素の生成にも介在し得ることは第7章で述べる通りである。

3. 光によつて刺戟されるホルモン分泌。この節では、ホルモンそのものが光によつて影響を受けるのでなく、ホルモンの分泌が、或ひは生成が光によつて促がされる問題を取扱つてみたい。

(1) 生殖腺刺戟ホルモンと鳥の夜飼。養鶏家はニワトリに卵を多く



産ませるために、夜も電燈をつけて、多くの餌を食べさせる。またわが國では昔からウグイスを正月に鳴かせるために夜飼いという技術が発達している。この技術は西洋にはなかつたものとみえて、Yogai という日本語が、そのまま使はれている。これも秋のうちから夜も燈をつけて、餌を食べさせるのであつて、秋のいつ頃から燈をつけ始めるか、またこれを毎日何時間位宛すれば、丁度正月頃に鳴きだすかなどが愛禽家の秘訣とするところである。そしてニワトリの場合でもウグイスの場合でも、夜飼の主眼は餌を多く食べさせることにあるとして、ウグイスの場合など、餌に就いての多くの秘訣が云い傳えられている。併し研究してみると夜飼の効果は光によつて起されるもので、餌の種類などは全く問題でないことが判つてきた。

本論にはいる前に少し横道へそれて、生殖腺刺戟ホルモンのことを述べておきたい。ウグイスに限らず、多くの野性の動物の繁殖時期は一年一回であつて、それぞれの動物で定つている。大抵の動物は春から夏にかけて繁殖するが、アホウドリのように秋にするものもある。つまり一年中でこの時期にだけ卵巣と精巣とが活動を開始して、卵と精子とをつくる。ところがこの卵なり精子なりがつくられるには、卵巣なり精巣なりの活動を刺戟するホルモンが必要である。いま繁殖時期の前に脳下垂體を除去しておく、生殖腺の活動は起らないが、一旦この除去をして生殖腺活動の止つた動物の皮下にでも腹腔にでも再び脳下垂體を植えこんでやると、生殖腺はまた活動を始める。また、まだ幼くて生殖腺の成熟していない動物に成熟したものの脳下垂體を植えこむと、生殖腺は成熟して、卵や精子ができてくる。以上のことから脳下垂體には、生殖腺の活動を刺戟する物質があり、これが血液中に分泌されて生殖腺に達して、作り

かけるということが判る。つまり脳下垂體から分泌される生殖腺刺戟ホルモンがなければ、卵も精子もできないわけである。

話を本筋にかえして、夜飼のことにもどると、ウグイスが雛を求めて鳴く直接の原因が脳下垂體ホルモンであるか、生殖腺やその他の器官から分泌されるホルモンであるかは、別問題にしても、とに角、生殖腺の活動開始が原因であり、従つて脳下垂體ホルモンの分泌と間接に因果関係があることは確かである。ところで夜飼の効果を分析するには餌を多く食べるということと、光に長くあたるということとの二要因に目をつければよい。そしてこの二つの要因が卵や精子の出来始めることに如何なる効果を及ぼすかを決定すればよいわけである。この立場から行われた実験<sup>1)</sup>に次のものがある。

自然の状態で生活しているムクドリ<sup>1)</sup>の精巣は夏から春にかけては活動を全く止めているが、四月になると精子を作り始める。豫め、禽舎で飼つて、これに慣れている雄を十二月の初めから、晝は普通の日光にあて、日没後も少しの時間、60ワットの電燈でてらしてやる。その點燈時間は最初の日は15分にして、それ以後毎日15分あて延ばしてゆくと、24日目には6時間點燈することになる。それ以後は毎日6時間の點燈を續けてゆく。元より冬至を十二月二十四五日とすると、これ以後は、晝の時間は少しあて長くなる。こうして飼つてゆくと一月の中旬頃には精巣の中には精子が充満するほど作られてくる。

次に三月の彼岸ごろ、丁度日の長さが12時間になつた頃、今まで自然のままに日光を受けていたものを、一日に10時間だけ日光に浴びさせ、

1) Bissounette: *Journ. exp. Zool.*, 58, 1931.

Bissounette: *Physiol. Zool.*, 1, 1931; 2, 1932.



その他の時間は暗所においておくと、その頃既に可なり成熟していた精巢は急に活動を止めて、秋頃の精巢と同じになってしまう。以上の実験で精巢が成熟するためには、一定度以上の日照時間が必要であることが判る。

併しこの場合に問題となるのは、光浴時間は毎日漸進的に長くなる必要があるかということである。これを解決するために次の実験が行われた。十一月中旬から実験を始めて、第一群の鳥には日没後毎日11時間点燈してやる。第二群の鳥には第一日には11時間、三日これを續けた後に10時間半というように三日毎に点燈時間を30分短くしてゆくと十二月中旬の点燈時間は4時間になる。この頃の精巢をみると、第一群、第二群共によく成熟して多くの精子を作っている。第二群では十一月中旬から十二月中旬にかけて、点燈時間は毎日減少しているし、この期間は晝間の時間も少しあて短くなっている。

以上によつて、精巢の成熟に必要なのは毎日の光浴時間が漸進的に増すことではなくて、毎日の光浴時間が一定の長さ以上であればよいと云える。この一定の長さとは何時間であるかを決定するために、更に次の実験が行われた。一月中旬から、二月中旬にかけて第一群の鳥は毎日12時間半、第二群は13時間あて点燈してやり、その餘の時間は全く暗所において日光にもあてないでおく。すると第二群の精巢は十分に成熟し、第一群では或る鳥の精巢は十分に成熟していたが、他のものでは不十分であつた。つまり12時間前後が毎日必要な光浴時間である。春の彼岸を過ぎて、即ち自然界でも晝の時間が12時間以上になる頃から四月にかけて、野山のムクドリが蕃殖時期にはいるのも以上のことから了解できるわけである。またこのときの光の強さは餘り大きな影響を興えないとい

う実験もある<sup>1)</sup>。

ここに問題となるのは点燈して光浴させれば、その時間だけ餌を餘分に食べる故、これが生殖腺成熟の原因でないかということである。併し点燈によつて延長した光浴時間中に餌を興えておいても、興えなくても、生殖腺の成熟には變りはない。つまり食物の多少は生殖腺に直接の関係はない。ただエワトリの場合などでは毎日卵を産ませれば、それだけ栄養を多分に要求するから、それだけ多量の食物も必要である。

次にこの現象は皮膚を直接に透す光によつて起されるか、眼にはいるものによるかが問題となる。これは眼から光のはいらぬように、眼だけ又は頭全體を被うた鳥で上の実験をくりかえしてみれば判ること、その結果によると、眼からはいる光だけが生殖腺成熟の原因となり得る。ところで、生殖腺は腦下垂體から分泌される生殖腺刺戟ホルモンを俟つて、初めて成熟し得る事實を思い起すと、眼からはいる光の刺戟は神經刺戟となり、これが腦下垂體を刺戟して生殖腺刺戟ホルモンの分泌を起させるか、或ひは光による眼の神經刺戟は他の器官を刺戟し、この器官から分泌されるホルモンが腦下垂體の分泌を起させるかである。いずれにしても腦下垂體が間に介在していることは疑いない。これに就いては、腦下垂體を除去したアヒルの子供は、光にあてても變化がないのに、除去しない子供は一日14時間あて光をあてると急に精巢が成熟するという事實がある<sup>2)</sup>。

次に眼に起つた神經刺戟が、どの徑路を通つて腦下垂體を刺戟するかという問題である。上のアヒルの実験のとき、若し眼球を除去して、その

1) Burger: *Jour. exp. Zool.*, 80, 1939.

2) Benoit: *Bull. biol. France et Belge*, 71, 1937.



傷跡を黒紙で完全に被うて光が透らなくしておけば精巢の成熟は起らないが、傷跡をそのままにしておけば、或ひは視神経を切りとつたままにしておけば、完全な眼のあるときと同じく精巢の成熟が起る。つまりこの場合には光は傷跡の組織を直接に透過して、内部のどの器官かを刺戟しているわけである。そこで小さな硝子管の側壁を黒く塗つて両端だけを透明にしたものを、眼窩から差しこんで、その一端が脳下垂體の下面の頭骨に達するようにしてみたが、これでも精子はできる。併しこの場合の光が直接に刺戟したものは脳下垂體そのものでなくて、そのすぐ上部にある脳の下視丘の神経細胞群であると思われる。何故というに、この細胞群には脳下垂體の内分泌を調節する作用があるからである。いずれにしても、眼に入つた光は神経刺戟となり、これが下視丘に伝えられて、新しい神経刺戟ができ、それに基づいて脳下垂體の生殖腺刺戟ホルモンの分泌されると考えるのが一番可能性の多いことである。尤もこれを云い切るには現在までの實驗的事實では少し不足である。

以上のムクドリの実験と似た實驗は、スズメ、カナリヤなどの二三の鳥とイタチでもなされているが、まだ多くの種類の動物に就いて行われたわけではない。併し、多くの野性の動物が一年一回、一定の時期に蕃殖するという現象は恐らくムクドリの場合と同じく光の効果に基づいているのであろう。

(2) 脳下垂體ホルモン。皮膚の色素細胞が、眼にはいる光の刺戟によつて伸縮することは第4章に述べたことである。そうしてカエルの場合にはその反應の中に脳下垂體から分泌される一種のホルモンが介在していることも既に述べた。ところでカエルの眼球を除去して、その傷跡から細長い硝子管を脳下垂體に向けて挿しこんでおいても、黒地の上で光

をてらせば色素細胞は伸張する。つまり、色素細胞伸張ホルモンの分泌に對する光の刺戟徑路は、大體アヒルの生殖腺刺戟ホルモンの分泌に對する徑路と同じに考えてよさそうである。

そこで問題となるのは、脳下垂體で作られる他の多くの種類のホルモンの分泌も、眼にはいる光の刺戟によつて促がされるのではあるまいかという疑問である。この問題はまだ實驗的に取扱われたものが少く、今後の大きな研究課題である。著者がこの節を長く書きすぎたのも、このことを云いたいためであつた。それで今までに発見されている脳下垂體ホルモンの種類を列挙してみることにする。いつたい、脊椎動物の脳下垂體は、例外もあるが、解剖的に前・中・後の三葉に分れている。

前葉には(1)生殖腺刺戟ホルモン——これには濾胞刺戟ホルモンと黄体形成ホルモンの二種類ある、(2)成長促進ホルモン、(3)甲状腺刺戟ホルモン、(4)脂肪代謝ホルモン、(5)含水炭素代謝ホルモン、(6)泌乳刺戟ホルモンなどがある。

中葉には色素細胞伸張ホルモンがある。これは後葉にもある。

後葉には(1)血圧を高めるホルモン、(2)子宮筋を収縮させるもの、(3)尿の排出を増させるものと、減らせるものがある。

以上10種のホルモンのどれに基因しているのか不明であるが、次の實驗結果<sup>1)</sup>も興味を引く問題である。大脳を除去したカエルを赤色光の下におくと、喉呼吸運動の回数が減る(例えば一分間115回)が紫色光の下では増す(例えば132回)。ところが、このカエルの脳下垂體を除去すると、上のような光の種類による呼吸回数差はみられなくなり、回数全體が著しく減つてくる(例えば80回)。このカエルに更に脳下垂體一

1) Rodewald: *Z. vegl. Physiol.*, 22, 1934—1935.



個分の乳液を注射すると、15分後には赤色光下で81回、紫色光下で100回の運動をする。これは恐らく脳下垂体ホルモンの一種が体内炭酸ガス量を光と關聯して支配していることを示すものであろうと考えられ、目下著者の研究室でも追及している。

(3) 週期性と關係あるホルモン。動物の生活を一年を通じてみると、一年一回の週期をもつた現象が多い。蕃殖とか、換羽とか、棲み場所の移動とか、冬眠・夏眠とか、その他体内の現象に至つては擧げきれないほどの例がある。こうした週期性は一日を單位としてみても行われている。晝活動して夜休む動物、またその逆をするものの例はわれわれの周圍をみても非常に多い。人間に寄生するフィラリヤ蟲の幼蟲も、この例であつて、*Filaria bancrofti*の幼蟲は、日中は人體深部の血液の中にひそんでいるが、夜は體表面に近い所を流れる血液にでてくる。これに反して*Filaria loa*の幼蟲は上と逆な行動をする。宿主になつている人間が日中は寢て夜起きているような生活をする、*F. bancrofti*の幼蟲も今までと逆行行動をするが、*F. loa*の幼蟲は今まで通りの行動を続ける。

一般に動物の日週期活動を支配する原因は、外界の光度、温度、湿度、食物などであるが、光度と温度とは最も大きな原因となつてることが多い。また海岸や淺海にすむものには潮の干満が原因となることが多い。ここには、日週期活動の直接原因がホルモンであり、そのホルモン分泌が光で支配されている例を二つ擧げることにする。

ザリガニは夜活動して日中は静止している。このザリガニを胸のあたりで紐でしばつて水中に吊してみると、暗所では旺んに足を動かして運動するが、これに強い光をあてると、尾の運動を殆んどやめてしまう。ところで眼柄を取り去つたザリガニも光の下では運動しない。このような

ものでも、これに眼柄の抽出液を注射してやると光の下でも運動を始める。この眼柄抽出液の中には色素細胞伸張ホルモンが含まれている。そこで第4章に述べたコエビの眼柄からとつた色素細胞伸張ホルモンを含んだ抽出液を注射してみてもザリガニは運動を始める。以上のことから眼柄から分泌される一種のホルモンが運動神経を刺戟して、ザリガニの夜間運動を起させることが判る。またこのホルモン分泌は光によつて抑制されるものであることも考えられる。そうして、このホルモンは色素細胞伸張ホルモンと同じく、眼柄内にある同一分泌腺から分泌されていると云われる<sup>1)</sup>。尤もこのホルモンは色素細胞ホルモンと同じものではなく、同じ内分泌腺から分泌される別のものであらう。

またディクシッパス (*Dixippus*) というナナフシムシの一種は第4章にも述べたように、夜活動して、日中休止している。その體色は日中は濃くなり、夜は褪色する。これを日中暗所におくと活動を始め、體色は褪せてくる。夜間電燈の下におくとこの逆になる。また脱皮や産卵も夜するが、これも人工的に晝夜を逆にすると晝間の暗所で脱皮や産卵をする。そうして以上の日週期行動は頭部にある内分泌腺から出るホルモンに支配されているもので、このホルモンが神経を刺戟して起る。つまりここでもホルモン分泌は光に支配されているわけである<sup>2)</sup>。

1) Kalmus: *Zeitschr. vergl. physiol.*, 25, 1938.

2) Kalmus: *Zeitschr. vergl. physiol.*, 25, 1938.



## 第7章 光と物質交代

## Effect of the light upon the metabolism.

光を動物體にあてたとき一つの化學變化が起つても、これを直ちに光化學變化と見做すわけにはいかない。また體内の物質交代には、それが光の影響によつて變化することは確かでも、光が如何なる徑路をとつてこの影響をしているかは不明なものが多い。

1. カリウムとカルシウム。無機イオンの物質交代のうちで最もはつきりと光から影響されるのはカリウムとカルシウムのものである。ビタミンD缺乏のために起るカルシウム缺乏と光との關係に就ては第6章に述べた。正常の哺乳動物を紫外線でてらすとその血液中のカルシウムが少量増し、カリウムは少量減ることが認められているが、この減増量の數字は多くの研究者によつて著しく異つている。それは血液が一方では組織から無機鹽を取つたり取られたりされながら、他方では尿中へ排出しているためかも知れない。そこで尿中へ排出される量を測定してみると、光の影響のしかたも割合にはつきりしている。兎を一日中日光にあてたものと、あてないものとで排尿中の量を比べると、光の下ではKは増し、Caは減る。元より體內無機鹽の量はその時の食物の性質によつて左右されるが、それにしても人蔘で飼えば光にあてたもののK:Caの値はあてないものの2倍となり、燕麥で飼えば4倍となる<sup>1)</sup>。

また各種の器官に含まれているKとCaとを、紫外線に毎日1時間あて一週間でらしたシロネズミと、あてないものとに就いて比較すると次

1) Pincussen: *Bioch. Z.*, 161, 1925.

表のようになる<sup>1)</sup>。

第9表 光とシロネズミ器官内のK:Ca (Pincussen)

毎日1時間宛1週間紫外線を照射。食物は煉乳とパン。

器 官	K : Ca	
	照射した動物	照射しない動物
肝 臓	13.8	19.1
心 臓	6.6	7.9
肺 臓	6.1	7.8
腎 臓	10.8	10.7
脾 臓	14.3	14.4

このように光によつて、肝臓、心臓、肺臓などのK:Caが著しく小さくなることは、尿中に排出されるもののK:Caが光によつて大きくなるのと符合している。本来Caイオンは蛋白質その他の膠質粒子に作いて、そのゾル状態をゲル化し、引いては膠質の粘度を増す作用をもち、Kはその反対の作用をもつている。この拮抗關係はあらゆる生理現象に對して極めて重大な意味を有するもので、光がK:Caの値を動かすということはこの點からも大事な現象である。ここで注意すべきことは、上の諸器官に含まれているKなりCaなりは解離状態のイオンとしてばかり存在しているのではなく、その一部は蛋白質などと結合していることである。磷酸イオンもまた光によつて著しい影響を受ける。紫外線照射した動物の血液中には一時的であるが、磷酸イオンが増す。これは主として磷脂質の分解に基くものとされている。

2. 炭水化物。血液内の糖量に對する光の影響は多くの人によつて研究されたが、あまり判然としない。併し少數の報告を除くと、光は血糖量

1) Loewy, & Pincussen: *Bioch. Z.*, 212, 1929.



を一時減少させるという実験結果が多い。この場合、正常な動物に光をあてただけでは血糖量の減り方は少ないが、もし豫め増感性色素を注射しておく、この減り方が多くなる。一般に血糖量は光によつて減る量が多いほど、その後では反動的に増す傾向がある。

3. 脂肪。一般に血液内の脂肪量は、動物を光にあてると増すという報告が多い。モルモットを照射すると、血液の脂肪量は増すが、心臓、肝臓の脂肪量は減り、筋肉、腎臓のものは變らないという報告もある。

Bauer (バウアー)<sup>1)</sup> は深海にいるエビの一種に就いて面白いことを報告している。著者はこの眞偽のほどを知らないがここに付け加えてみよう。このエビが食物をとると皮下結合組織の中に青色の物質が沈着してくる。これはそこにある色素細胞の周囲に集合して、細胞の突起の中にはいりこむが、光にあたると、細胞内のこの物質は消失して代りに表皮細胞の間に脂肪が現われてくる。もしエビを暗所においておけば、青色物はそのまま色素細胞に残つていて脂肪は現われない。つまり青色物質が光化学的に變化して脂肪になるものといつている。

4. 窒素化合物。光が動物にあたつたとき、尿中に排出される總窒素量が變化するかどうかは、多くの人によつて研究されたが、僅かに増加するという事だけ云えるようである。特にこの場合は照射する光の性質と強さが大きな要因となるのに、これを厳密に規定しない仕事が多いから、結論も一定しない。その上、この反應は強い紫外線で初めて起るので排出された窒素として報告されている數字は紫外線で直接壊された組織からでたものも含んでいることが多い。

併しプリン體の代謝に對する光の影響は可なり判つきりしている。犬

1) Bauer: *Z. allg. Physiol.*, 13, 1912.

や兎のプリン體が分解して尿に排出される時には尿酸の分解物であるアラントインとなつている。いま犬に増感物質としてエオジンを注射しておいて、紫外線にあてると尿中のアラントインは著しく減じて、尿酸が増してくる。アラントインは體外で化学的に分解しても、容易に尿酸を生ずる故、上の尿中に排出された尿酸も、アラントインの分解に基くものと思われる。

そこで核酸、クサンチン、尿酸、アラントインを兎や犬に食べさせるか、靜脈注射をすると第10表に示すように、尿中に尿酸が多量に排出されるが、紫外線にあてた動物では特に著しい。

第10表 光とプリン代謝 (Pincussen)

試験動物	投與物質	投與法	排出尿酸量	
			光を照射しないもの	光を照射したもの
兎	尿酸	靜脈注射	29.5	45.0
兎	アラントイン	經口	16.6	32.0
犬	アラントイン	〃	5.0	13.7
犬	クサンチン	〃	20.3	28.4
兎	クサンチン	靜脈注射	10.0	73.0
犬	核酸	經口	14.0	26.0
犬	核酸	〃	17.0	48.0

排出尿酸量の値は、投與物質から生じ得る尿酸量を理論的に計算し、排出された尿酸量が、この理論的計算量の何%に當るかを示す。

さらに尿酸ナトリウムを犬に皮下注射すると、その五分の四は、そのまま尿中に排出されるが、若し犬を光にあてると、尿中の尿酸は更に三分の一少くなる。つまり尿酸も光によつて體内で分解されるわけである。

1) Pincussen: *Dtsch. med. Wschr.*, 44, 1913.



5. **日焼けとメラニン生成.** 哺乳動物の皮膚には色素細胞がない。皮膚が日にやけてできるメラニン顆粒は表皮細胞の中に、とくに表皮の最下層の細胞に多量に含まれている。表皮の下の結合組織の中にも色素を含んだ細胞のあることがあるが、これは表皮細胞が遊離して移動したものである。

日焼けで皮膚にメラニンができる前には、必ずその部の皮膚が赤く充血して所謂紅斑が現われる。そうしてこの紅斑の色がさめると共にメラニンができてくる。この過程を紫外線と赤外線とでもつと詳しく観察すると、何れの場合でも照射後いくらかの潜伏期があつてから紅斑が現われる。紫外線によるこの潜伏期は二三時間から五六時間つづき、紅斑も一日から一週間位続く。これに反して赤外線での潜伏期は数秒であり、紅斑も一二時間で消える。紫外線によるメラニンは量が多くて数ヶ月も消失しないであるが、赤外線によるものは量が少なくて数日で消える。つまり長短どちらの波長の光でも紅斑を生じるとは同じであるが、その性質は全く異つて居り、所謂日焼けの色素は紫外線に基くものである。

併しこれと關聯して大事なことは、紫外線による紅斑形成は赤外線によつて大きな影響を受けることである。紫外線で照射した後に赤外線や他の熱源からの熱を加えると、紅斑形成は弱められる。また紫外線を照射する直前に、又は紫外線と同時に赤外線で照射すると紅斑形成は強められる。

以上の事實は生物體に對する光線の作用機構を研究してゆく上に極めて大きな暗示を與えるものである。

次に人間の皮膚に對して、どの波長の紫外線が最も強い紅斑を起させるかは、第11表に示す通りである。

第11表 紫外線に對する皮膚の感度 (Hausser &amp; Vahle)

波長 Å	3130	3020	2970	2890	2530
感度 %	4.5	58	100	30	16

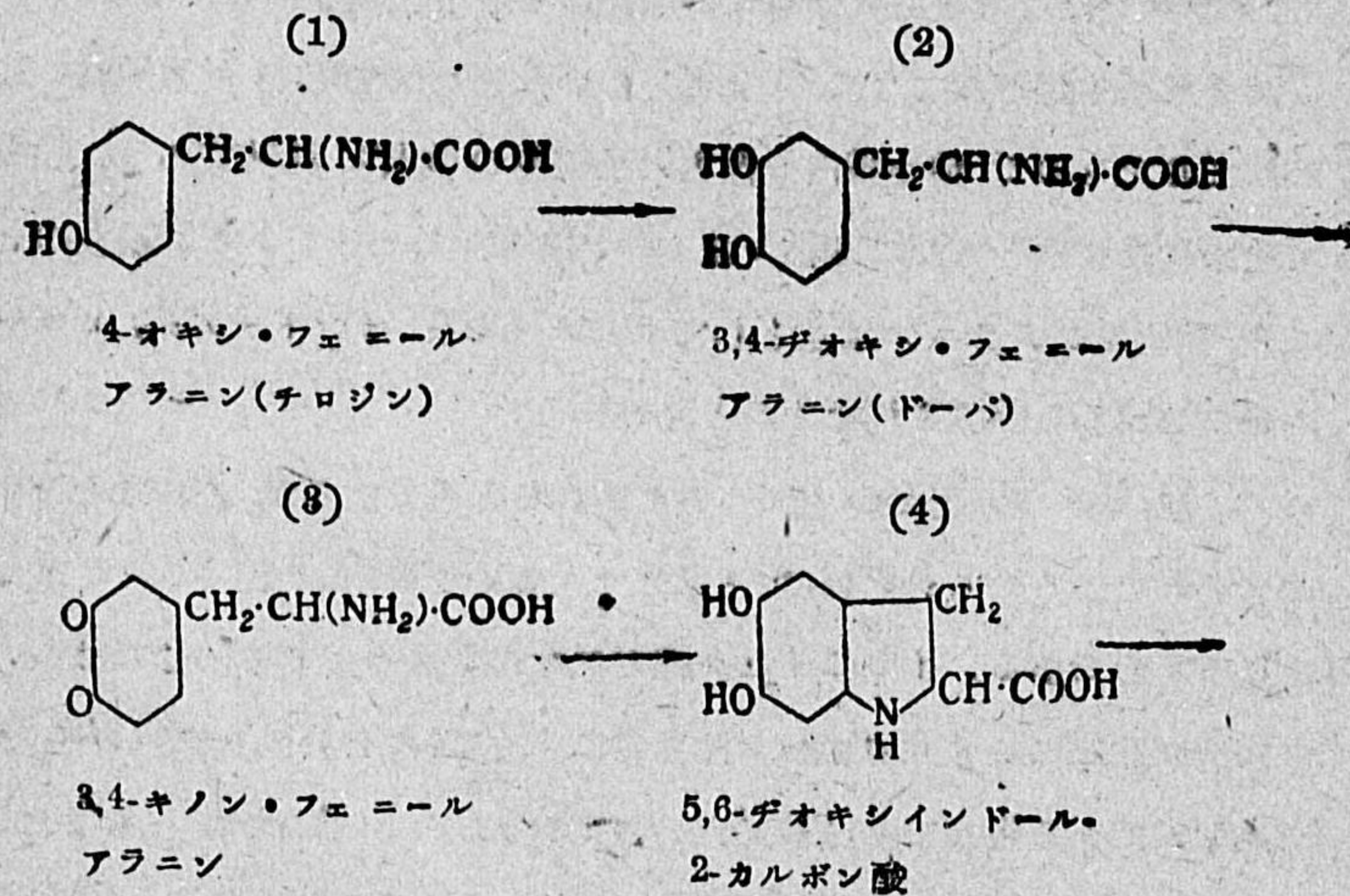
紅斑の赤色度とその持続時間が大きいほど、即ちその部の毛細血管の擴張度の大きいほど、その後に行けるメラニンの量は多い。紅斑の甚だしいときは、毛細血管の透過性が高まつて、血液内の水分は元より血漿まで血管外に滲出する。水泡のできるのはこのためである。更に甚だしいときは血管の一部は破れて部分的出血を起し、その部の組織も崩壊する。こうして、著しい紅斑は必ずその部分の蛋白質の分解を伴うものであつて、メラニンはこの蛋白質分解物の酸化によつて生成される。

第4章にも述べたように、メラニンという言葉はむしろ形態學的に使われてきたもので、動物體内の黒色乃至褐色の物質の總稱である。従つてその化學構造と母體にも種々なものがあり得るわけである。現在のところ、動物體のメラニンは主としてフェノール系、インドール系、ピロール系の物質から誘導されたものと思われる。

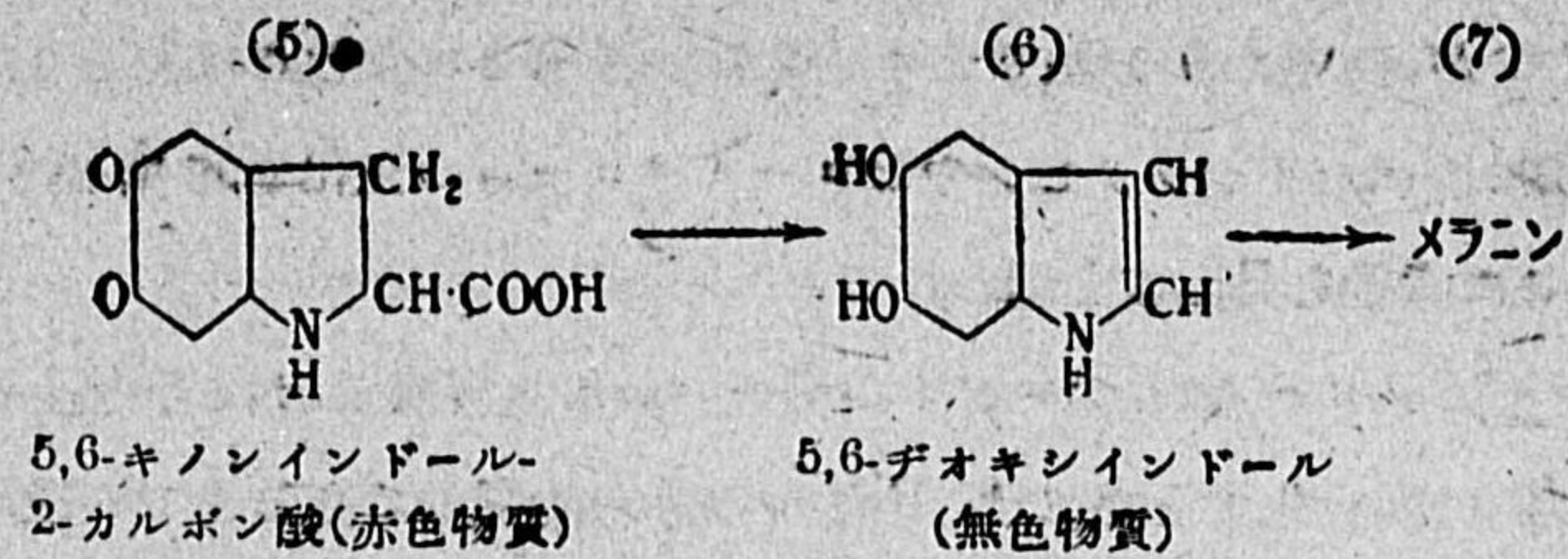
バッタ、イナゴなどの唾液が空気に觸れると黒くなるが、これはその中に含まれているチロジンが、チロジナーゼという酸化酵素によつて酸化されるためである。イカのインク腺で黒汁のできるときも同じである。併し脊椎動物にはチロジナーゼは非常に少なくて、たといチロジンからメラニンができる場合でも、別の方法でできるものと思われる。現在までのメラニン生成機構に關する研究は、チロジナーゼによるものが最も多い。そのうち最も一般から認められているのは Raper (レーパー) の仕



事<sup>1)</sup>である。それによると、チロジンにチロジナーゼを作かせると、無色の溶液は一旦赤色となつて、それから黒色に変化する。この赤色になつたときに、膠状水酸化鐵を加えて、チロジナーゼを吸着して取り去つてしまつても、赤色物質は黒くなる。これによつて、チロジナーゼの酵素作用を必要とするのは、無色のチロジンが赤色物質に変化するまでの過程であつて、赤色物質は酵素がなくても、自動的に空氣中の酸素で酸化されてメラニンになることが判る。次にこの赤色溶液を分析してみると、チオキシ・フェニールアラニン(ドーパ)が含まれており、また赤色溶液をアルカリ性にするか、無酸素下におくかして生じる無色溶液を分析すると、インドールとインドール・カルボン酸が検出される。以上の事實からメラニンの生成機構を Raper は次のように考えた。



1) Raper: *Bioch. J.*, 21, 1927.



以上の諸反應のうち、チロジナーゼが關係するのは(1)から(5)に至る過程で、(5)から(6)へは自動還元により、(6)から(7)へは自動酸化によることになる。次に、こうして作つたメラニンは 8.65% N を含んでいる。(6)のデオキシインドールは  $C_8H_7O_2N$  で 9.89% N を含んでいる。假りにこの  $C_8H_7O_2N$  から H が二原子減つて O が一原子加わるとすれば、 $C_8H_5O_3N$  となり 8.59% の N を含むこととなつて(7)のメラニンと似ている。そこで假りに(7)のメラニンが  $C_8H_5O_3N$  の組成をもつものとし、上述の諸反應が正しいとすれば、1分子のチロジンから1分子のメラニンができるには5原子の酸素が使われ、1分子のドーパから1分子のメラニンができるには4原子の酸素が使われる筈である。實際にメラニン生成に際して使われる酸素の量を測つてみると、チロジンから出發すると 5.23 原子であり、ドーパからすれば 4.12 原子である。以上の事實から Raper は(7)のメラニンが  $C_8H_5O_3N$  であるとしている。

ところで脊椎動物の皮膚にチロジンを加えても、メラニンのできることは殆んどない。併し色素の沈着している皮膚の部分にはドーパ酸化酵素があつて、ドーパからはメラニンを生ずることができる。それにも拘らず脊椎動物の蛋白質を構成しているアミノ酸にはドーパはない。従つて、上述のドーパ酸化酵素が体内でメラニン生成に與るとすれば、ドーパ

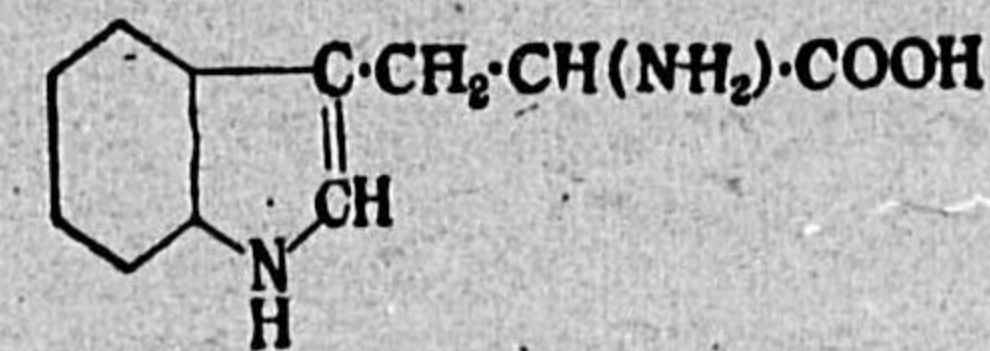


そのものが、何等かの方法でチロジンから誘導されなければならない。第6章に述べたリボフラビンやピロールクロームの光化学的増感作用は、ここに意義を見出すと思われる。

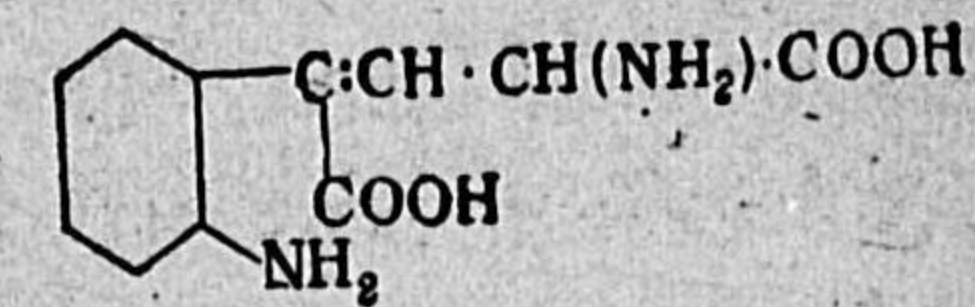
ピロールクロームが、チロジンかドーパかの水溶液を、光と空気との下で酸化的に褐色化するときには、Raperの赤色物質のできるまでの段階には促進的に作るが、赤色物質からメラニンのできる段階には抑制的に作る。この抑制作用はピロールクロームが光によつて放出する水素のためである。ドーパは單獨でも空気中で容易にメラニン化すが、このときは赤色化は起らない。従つてチロジナーゼやピロールクロームによつて酸化するのは異つた経路をとるものと思われる。またチロジンの褐色化は日光直射下でも殆んど起らない。それ故にこのチロジンの酸化の困難なのはオルトの位置に二つのOH基をつけることが容易に行われなことを示すものである(上式参照)。従つて上の実験事實はリボフラビンとピロールクロームとはこの段階にも促進的に作ることを示すものでありドーパからインドール基の誘導段階にも促進的に作ることをも示している。而かも兩段階に對するこの促進能力は酵素作用に匹敵する速度を有して居り、チロジナーゼの代行をし得ると考えられる。チロジンとドーパ酸化酵素とはありながら、チロジナーゼとドーパのない多くの脊椎動物の皮膚で、メラニンができるということは、リボフラビンやピロールクロームの光化学的増感性を俟つて初めて可能となる。

以上のように、フェノール系物質から出發しても、その途中にインドール化が起るから、メラニンの直接母體はインドール系物質である。ところで動物體のメラニンには、このインドール系物質、特にトリプトファン、トリプタミンから出發して作られるものも多い。この場合にはトリプト

ファンは酸化的分解をしてキヌレニンを生じこれがメラニン母體となる



トリプトファン



キヌレニン

いずれにしてもメラニンは酸化反應によつてできる。従つてカエルの幼生をインドフェノール系の色素のような酸化還元電位の高いもの水溶液内で飼うと、體は白色になる。

メラニンの生理的意義に就ては第4章で述べたが、既にでき上つたメラニンそのものの光化学的作用とは別に、メラニンの母體であるチラミン、アドレナリン、オキシチラミン、トリプタミンなどのアミン類の生理作用を忘れてはならない。またこれらアミンの作用を考える場合には單に血管とか細胞とかの緊張度に及ぼす影響ばかりでなく、これが蛋白質そのものに及ぼす影響やアドレノクロームのような酸化還元物質の生成されることも考慮に入れる必要がある。つまり體内で多量のメラニンができる前段階には、これらの作用物質が多量に作られており、メラニンの生成とはこの作用物質を取り除く現象であるとも云える。日やけによる皮膚色素の生成もこの見地からみることができる。

この點に關して著者は現在のところ次のような見解をもつている。組織が光を受けたとき第一に起る反應はヒスタミン系の物質、所謂H物質の生成である。その結果紅斑が生じるが、これに對抗するために第二段階として、H物質と拮抗的に作るチラミン、オキシチラミン、アドレナリン、トリプタミンなどのアミン類の一種又は數種が作られる。その結果



紅斑は消失する代りにメラニンが生成されてくる。元より第一、第二段階は同時に起ることも継次的に起ることもあり得よう。ところでH物質は、蛋白質その他と結合して平常時でも少量体内に存在しているが、この形では、その本来の作用を發揮することはできない。併しこの結合體が光、熱、機械的、化學的刺戟に會うと容易にH物質は分離されてその本来の作用を發揮する。赤外線はこのH物質の遊離化にのみ働き、紫外線は遊離化にも作すが、更にH物質の母體の生成をも誘起する。そうしてこの母體の生成と關聯する或る反應に對して紫外線と赤外線とは拮抗的に作る。元よりこの假定は今後の詳しい實驗的事實によつて十分に裏付けられねばならない。

6. 呼吸。動物體の酸素消費及び炭酸ガス排出とに對する光の影響は從來多數の人によつて研究されたが、その結果は可なりまちまちである。これは實驗に用いた光の強さが異つていたためもあるが、動物の運動が光によつて影響され、呼吸量はこの運動量に著しく影響されるからであろう。一般的には呼吸は光によつて高まるが強い紫外線は却つて抑制的に作用する。

カエルの喉呼吸運動が光によつて左右されることは第6章に述べたが、この現象を分析することは光と呼吸代謝との關係を突きとめる一つの契機となるであろう。

次に日週期活動をするものの例としてウミシヤボテンを擧げてみよう。この動物はザンゴ類の一種で、一匹の大きさは小さな大根ほどもあるが、實は多數の小さな個體からなる群體である。淺海の砂地に棲んでいて、夜は砂の上で大きく膨れているが、日中は小さく收縮して砂の中にもぐつている。つまりこの膨脹と收縮とを日週期的にくりかえしている。こ

の日週期が光に基くものであることは、實驗室で人工的に晝夜を逆轉してみれば判る<sup>1)</sup>。日中砂の中に潜つているときは酸素を殆んど消費しないが、夜間は體重 1g につき、1時間に 19-30mm<sup>3</sup> の酸素を消費する。このとき、夕方から酸素消費はだんだん高まつて夜明け前に最高に達する。これと逆に體液中に含まれている炭酸ガスは日中は7.5容量%を最高とし、夜になると最低5.6%まで減る。従つて體液の水素イオン濃度は日中はpH 7.4を最高とし、夜は最低pH 7.8に落ちる。この方は夜明け前が最低であつて、砂に潜ると共に徐々に高まつて、夕方に砂から外へでる頃が最高になり、それから夜明まで徐々に減つてゆく。日中体内に炭酸ガスがたまつて水素イオン濃度が高まるのは、この間は砂に潜つて呼吸をしないために、解糖作用などが起つて体内に酸が蓄積するためである。夜間炭酸ガスが減るのはこれを呼吸によつて體外に排出するためである。

酸性度が夕方になつて或る値以上になると、これが神經を刺戟して體の膨脹が始まり砂の上にて。夜明けに体内の酸性度が或る値以下になるとこれが神經刺戟となつて體の縮小が始まる。この現象は實驗的に酸やアルカリを体内に注射しても起させることができる。つまりウミシヤボテンの體の日週期的膨脹・縮小は体内の酸性度で定まり、体内の酸性度は呼吸によつて定まる。そうして後者は光によつて左右されているわけである。

1) 森主一：京大動物學教室 生理生態學業績, 1945.



## 第8章 光と細胞・組織

Effect of the light upon cells and tissues.

1. 細胞原形質. 光が或る細胞に対して影響を興えるには、これが先ず細胞のどの部分かによつて吸収されねばならない。次に光の強さが適當であれば細胞の機能は旺んになるが、強すぎると却つて障害を起し、甚しければ死に至る。従つて一つ細胞に対する光の効果は、細胞の種類と、光の波長と強さによつて、それぞれ異なる。原形質に対する光の影響を膠質學的にみると、細胞の機能を旺んにするとは、原形質をその細胞に適度なゾル状態におくことであり、死に至らすとは、甚だしい凝固化によつて凝集させるかゾル化によつて溶崩させることである。この場合、光によるこの粘度変化は、原形質内のカルシウムイオンの増減によつて起るとすぐ考え易いが、そう簡単にはゆかない。原形質は細胞外に取り出した蛋白質と異つて、自律性をもつたものである。筋肉蛋白質が光によつて變性して凝固化する場合などにはカルシウムイオンの影響はない。少くとも光が原形質に対して及ぼす一次的變化にはカルシウムと関係なく起るものがある。元より光が結合状態にあるカルシウムを遊離させ、このカルシウムの作用によつて起る蛋白質の凝固化もある。例えばウニの卵を紫外線で照らすと細胞の表面近くの粘度が高まりこれは漸次細胞の内方へ傳わつてゆく。併し卵を豫め修酸鹽で處理してカルシウムを取去つておくと上の變化は起らない。

膠質の粘度の増減は當然にその表面張力の増減を來たすわけで、このことは細胞原形質でもみられる。

アメーバの偽足が伸びつつあるときには、ゾル状の原形質が足の先端に向つて流れている。このとき適度な光をあてると、足の先端近くの原形質に凝固化が起る。そしてこの凝固化した部分より先端側にある原形質は今までと逆方向に流れはじめて偽足は收縮してゆく。アメーバのこの凝固化は可視線のうちでは青色、緑色などの短波長の光で起され、赤外線では却つてゾル化が起る<sup>1)</sup>。一般にどの動物の細胞に対しても紫外線は最もよく凝固化を起させる。第3章に於いて述べたように、蛋白質の凝固化即ち變性で最も重要なことは、それが單に膠質の状態變化という物理的變化に止まらないで、その分子の化學反應力に大きな變化が起ることである。チロジン、トリプトファン、ヒスチジン、チステインなどの還元性アミノ酸は蛋白質の構成要素の一つであるが、これらは蛋白質分子がゾル状態のときはその還元性を發揮することはできない。然るに蛋白質の凝固化が著しくなると、これらのアミノ酸は依然蛋白質分子の中に含まれていながら、他の物質に対して還元的に働く化學反應力を得てくる。尤もこの現象はすべての種類の蛋白質凝固に必ず伴うものではなく、例外も多い。従つて同じ凝固化にも種々な種類があることが考えられる。つまり光の影響を考えると、ただ凝固・崩落の二要素だけで簡単に片付けるわけにはゆかない。われわれ人間はとかくものごとを簡単に片付けたがるが、自然は中々そうでない。

さらに凝固化に就いて考えられることは、ゾル状態では蛋白質は種々な物質と結合して複合體を作つているが、凝固化すとこれを遊離させることである。上にのべたカルシウムや第6章に述べたヒスタミン様のH

1) Mast: Z. vergl. Physiol., 15, 1931.



物質の遊離現象の如きはその例である。

以上の事實からだけでも、光によつて起された細胞内の凝固化は、種々なる化學反應の誘因となることがわかる。つまり光は直接に光化學的に作かなくても、凝固化を通じてだけでも細胞内の化學反應を促進させることができる。特別の感光細胞以外の一般の細胞に対する光の影響はむしろこの形で行われるものが多い。

次に一般細胞に対する影響と關聯してよく知られていることは、光化學的増感物質の影響である。大抵の細胞は、そのままよりも、エオジン、エリトロジン、フルオレツェイン、その他アクリチン系の種々な色素で染めると、光の影響を受け易い。これらの増感物質は大抵螢光をだすものであるが、その螢光の波長は比較的長いものが多く、また、類似の化學構造を有する色素で比べると螢光性の弱いものが却つて増感能力が大きいという事實がある。従つて螢光そのものが、直接光化學的に作っている可能性は極めて少い。また一般に増感物質で促進される反應は酸化反應が多い點から、この増感物質は光によつて過酸化となり、酸化觸媒的に作くという説もでてくる。その他増感質は光によつて分解し、この分解物が増感的に作くという説もある。いずれにしても増感質で染めておけば細胞は弱い光でも死に易くなる。光を殺菌に使う場合に色素が利用されるのは、このためである。

牛・馬・羊などの家畜がソバの葉や莖を多量に食べて、光にあたると、皮膚に發疹して、甚だしいときは水泡ができて崩れてくる。一般に蕎麥中毒と云われている。これは蕎麥に含まれている赤色螢光性物質の増感作用による皮膚炎である。また血色素の分解物にヘマトポフィリンという螢光性の物質がある。極めて稀なことであるが體內にこの物質が多

量に生じることがある。この場合も光にあたるとひどい皮膚炎を起す。この物質を多量にモルモットに注射して光をあてると死んでしまうくらいである。

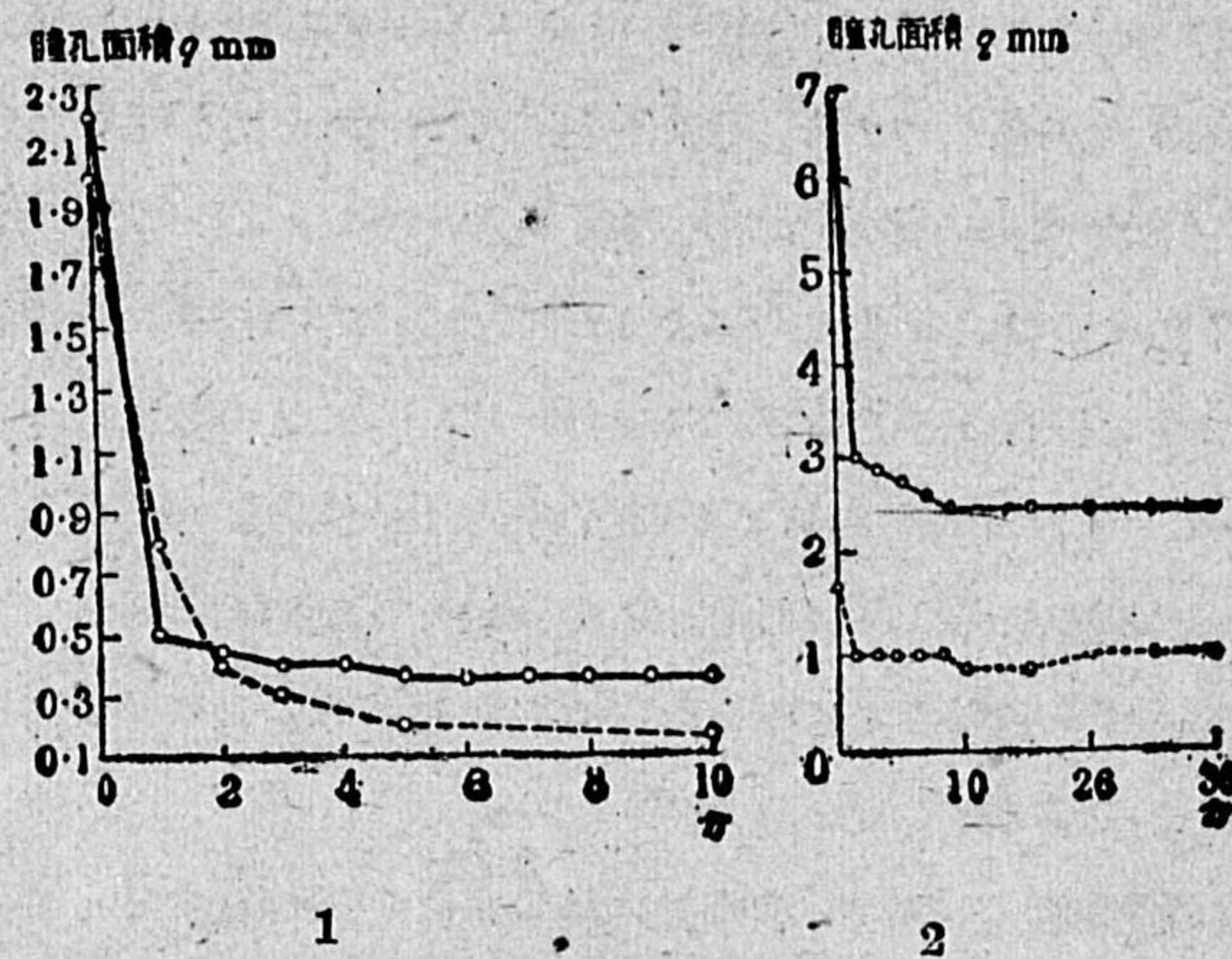
蕎麥中毒の場合よく知られていることであるが、同じ量の蕎麥を食べ、同じ強さの光にあたつても、黒とか褐色とかの毛をもつた動物は白いものより皮膚炎が軽くてすむ。また一匹の動物では、若し毛の色が斑であると、黒い部分は白い部分より皮膚炎が軽い。このように黒い皮膚は白いものより光に対する抵抗力が大きいことは、この蕎麥中毒ばかりでなく一般にみられることである。この差は、黒・白兩部分にはいる光の量の差よりも、主として光に対する細胞自身の抵抗力の差である。つまり黒い部分の細胞は光によつて自分の中に起された變化に對して拮抗反應を起し易い性質をもっている。このことは第 8 章の日やけの項に述べたことから了解できるであろう。

2. 虹彩筋肉。筋肉は一般に神經刺戟によつて伸縮するものであつて、この點平滑筋でも横紋筋でも變りはない。併し下等な脊椎動物の虹彩筋肉は主として光の直接刺戟によつて收縮し、神經刺戟は光の刺戟を補助しているに過ぎない。一體虹彩筋肉には交感神經と副交感神經とが分布していて、前者の刺戟で瞳孔は縮小し、後者の刺戟で散大する。哺乳類や鳥類の視神經を切斷すると、光があたつても瞳孔の大きさに變化は起らない。これは光の刺戟が網膜で神經刺戟となり、これが更に上に述べた神經刺戟として虹彩に達することを示すものである。

ところで魚類や兩棲類では、視神經を切斷しても、眼球を切りだしても、また虹彩だけ切り出しても、光にあてれば瞳孔は縮小し、暗くすれば散大する。これは虹彩筋肉が光の直接刺戟に反應することを示すものよう



に一應見える。併し、からだについたままで何も手術もしない眼の虹彩と切りだした眼球の虹彩と、虹彩だけ切りはなしたもので光に対する瞳孔反応を詳しく測定してみると、第21圖に示すように三者は全く同じではない<sup>1)</sup>。



第21圖 光による瞳孔の大きさ (Studnitz). 1 ホシザメ. — 正常状態の眼. - - - 別出した虹彩. 2 カエル. — 別出した眼球. - - - 別出した虹彩.

このことから判るように、自然の状態にある虹彩筋肉の伸縮の原因はその大部分が光の直接刺戟であるが、一部分は網膜からの反射的神経刺戟であり、また他の一小部分は虹彩の中だけの反射的神経刺戟である。ウナギ、ホシザメ、エビ、カエルなどはこのよい例であるが、魚類や兩棲類にも例外は多く、視神経を切斷すると虹彩は光に全く反應しなくなるものもある。面白いことには、これを系統分類學上の動物の位置からみる

1) Studnitz: Physiologie des Seheus, Leipzig, 1940.

と、蛇類から上には光で直接刺戟される虹彩を持つている動物は一つもなく、カメ類以下で、下等になるほど、この例が多くなる。

3. 神経組織. 前章に述べたように、鳥やカエルの眼窩から脳下垂體附近に光をあてると、脳下垂體ホルモンの分泌が起る。これは恐らく間腦下底部か下視丘かが、光で刺戟されたためであろう。また海底の泥の中にいるホシムシの腹神経索に可視線をあてると律動運動をするが、ミミズの腹神経索は紫外線であればしない。併しこれらの實驗は神経組織を體外に切りだして行つたものであつて、自然の状態で、光の刺戟が直接作用しているとは思われない。



## 第9章 光と成長

Effect of the light upon the growth.

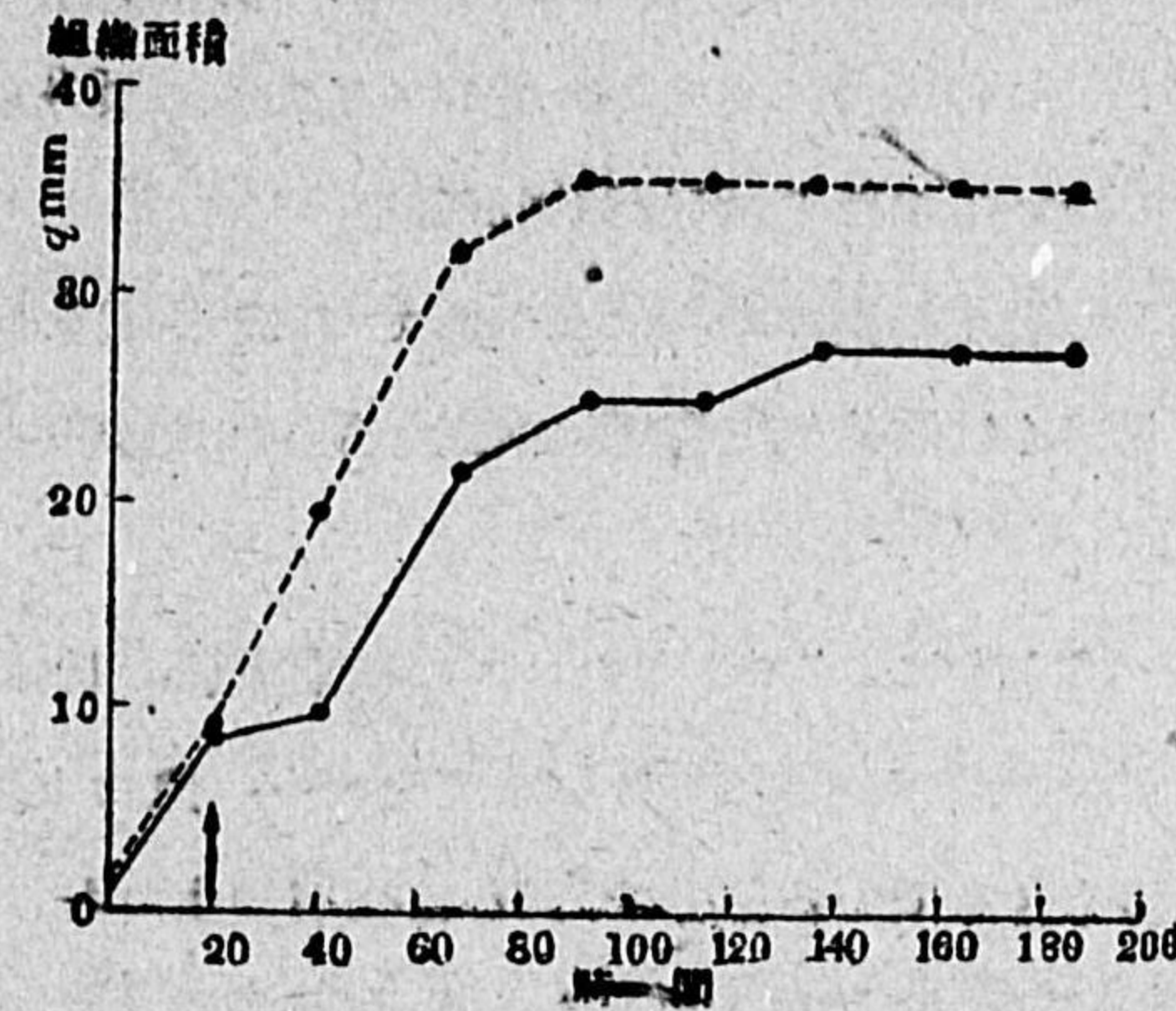
動物の成長はこれを細胞の数の増加することと、細胞の形や機能の分化することとの二要因に分けることができる。植物では細胞の大きさが増すことも成長の要因になるが動物では體の増大は細胞数の増加と細胞間物質の増量とだけに基いている。

成長に対する光の影響は細胞の増殖と分化との両面に及んでいるのであろうが、分化に対する光の影響は今まで殆んど研究されていない。併し體の増大ということは必然に分化を伴っているのであるから、本章で述べる體の増大に関する実験結果も、分化の現象と何等かの関係を含んでいるに相違ない。

1. 培養組織。動物體內には多数の種類細胞があつて互に影響を及ぼし合つておる。また神経やホルモンなどの支配を受けておる。従つて細胞の周圍の條件を一定にして、細胞に起る現象を分析することは中々困難である。この困難を除く一つの方法として組織培養を行うことがある。組織の小片を切りだして、適当なガラス器の中で培養すると、細胞は分裂して増殖する。四五日目毎に培養基を新しく取換えてゆくと、細胞はいつまでも増殖を続け十年も二十年も飼ひ續けた例は多い。この方法によると、丁度バクテリアの純粹培養のように同一種類の細胞ばかりの純粹培養ができること、周圍の培養基の組成を研究者の思うままに變えることができることなどの便利がある。

こうした培養組織の増殖に対して、光が如何なる効果を及ぼすかとい

う実験は割合にまだ少い。少くとも可視線はあまり著しい變化を與えないことが多い。



第22圖 培養組織の成長に対する紫外線の効果 (Mayer)

—↑にて1分間照射。-----対照実験。

脾臓の培養組織を二つに切り分けて、二つとも同一條件の下に飼ひ、一方は日光にあて、他方は全く暗所におくと、光にあてた方は暗所に比べて24時間後には結合組織母細胞の増殖が旺んになるが、4~8日たつと却つて退化を始める。この実験はガラス器の中で行われているから紫外線は関係していない。また日光によつての温度の上昇も調節してあるから関係ない。

次にガラス器の一部を石英板にして、紫外線が培養組織に到達できるようにし、紫外線照射をした実験<sup>1)</sup>がある。培養細胞は結合組織母細胞

1) Mayer: *Virchows Arch.*, 277, 1930.



であつて、光源は水銀石英燈である。ランプによる培養組織の温度の上昇は39°に調節してある。第22圖に示すように一分間だけ照射しても影響はすぐ現われ、細胞増殖は可なり抑制されるが、5分間照射すると殆んど全部抑制される。この場合に濾光障を使つて短波長の紫外線を吸収してみると、波長の短いものほど、抑制作用が強い。

2. 幼生。動物の發生初期の幼生に光をあてて、成長度をみた實驗は非常に多い。併し多くは断片的な觀察のため、得られた結果が互に一致しないものが多い。

第6章にも述べたように、イモリやカエルの初期囊胚の原口上唇にはピロールクロームがあつて、可視線でも螢光をだす。原口上唇は外胚葉誘導物質を最も多く含んでいる部分で、云わば初期發生の中心部である。従つてこの部分を胞胚期の胞腔に入れておくと、將來腹部の皮膚になるべき外胚葉が腦となり、頭の二つある幼生ができる。こういう發生上重要な部分が可視線下に螢光していることは、光が發生に重要な効果をもつてゐることを示すものであろう。カエルやイモリの初期幼生を暗所におくと成長の止まることは人のよく知つてゐる處である。そこでカエルの

第12表 光と蝌蚪の成長 (Yung)

光の色	二ヶ月後の體長 mm	白色光下の體長 を100とした値
白	31.50	100
紫	42.32	134
青	33.92	107
黄	32.24	102
赤	27.17	86
綠	皆死す	

幼生を單色光の下で飼うと、蝌蚪の體長に第12表に示すような差が出てくる。

この結果を第6章に述べた「光と喉呼吸運動との關係」と比べてみると興味ある一致がみられる。即ち大脳を除去した親ガエルの喉呼吸運動も紫色光下では旺んであるが、赤色光下では弱く、綠色光下では最も弱い<sup>1)</sup>。

このような成長に対する單色光の影響は動物によつて皆異つてゐる。ただ紫色線が成長を促進することと、赤色と綠色光線とが抑制的に働くことはサケやモノアラガイでも報告されている。紫外線は大抵のもの成長を抑制し、強いものは死を來たす。

ニワトリの雛を單色光の下で飼うと黄色光と青色光とは抑制的に作用する。また毎日1分あて紫外線にあてると成長は促進される。

1) Babak: *Z. Psychol. u. Physiol.*, 47, 1913.



## 第10章 動物の發光

The luminescence in animal organisms.

ホタルや夜光蟲の光ることは誰でも知つている。その他光を發するいろいろな動物を見た人は多いであろう。猫や鼠の眼が暗い處で光つてゐることはよく經驗することである。また死んだ魚や牛肉の光るのを經驗した人もあるかも知れない。墓場で燐が燃えていたとか人魂をみたとかいう傳説も多い。

これらの光る現象の中には、ホタルのように動物自身が發光するものもあり、肉のように發光バクテリアの光によるものもある。墓場の光と人魂とは科學的事實に基いた證據がないから此處には取扱わないことにする。

1. 猫の眼の夜光。よく質問されるのは、猫や鼠の眼の光ることである。普通に猫の眼は暗い處で光ると云われるが、この暗いというのは、絶對的に暗黒なのではなくて、吾々の眼に暗く感じるという程度であつて、よく檢べるとそこには必ず星の光とか、壁の隙間からはいる微光だとか何かの外界光線がある。完全な暗黒の中に猫をおいてみると、その眼は決して光らないから、これは發光ではない。

猫の眼の虹彩にはグアニンの小結晶や顆粒が多數沈着してゐて、外から照射された光を十分に反射することができる。その際グアニンの性質と形とが光を著しく擴散させ、干涉を起させるに都合よくできているので、極めて微量の光を反射しても吾々の眼に光として感じるのである。従つて猫の眼自身が光るのではなく、第8章に述べた眼球内の白輝膜の

光るのと同じ性質のものである。猫が暗處で物を見分けるには可なり役に立つてゐると思われる。タラの眼球内でリポフラビンが發光するのも同じ役目をしてゐるものであろう。このような光の干涉と反射とによつて夜間光る現象は鳥の羽毛や蝶の鱗片でも屢々みられる。ただここに注意を要するのは多くの動物の眼のレンズは發光することである。

2. 發光バクテリアによる動物發光。バクテリアの中には体内の化學反應によつて發光するものが多く、今まで研究されたものは百數十種類に達している。動物が發光する場合にも、この發光バクテリアが寄生したり、共生したりしてゐる例が可なり多い。

(1) 肉や死んだ魚の發光。牛肉や鶏肉を初め食用の肉類が、調理場で光つてゐたという記録は非常に多い。また死んだ魚の發光もよく經驗されている。その他の動物の死骸が發光することも多く、人の傷口が發光した例も報告されている。これらの發光はそこに附着して繁殖した發光バクテリアの發光に基くものであつて、腐敗の初めに起り易い現象である。従つて肉に限らず内臓も發光する。肉の光るのが發光バクテリアや發光カビのためであることを初めて唱えたのは Hella (ヘラ) であつて1853年のことであつた。また腐つた木材が光ることがよくあるが、この場合は發光菌の繁殖によるものが多い。食用の肉類に繁殖する發光バクテリアそのものは人間には無害であるが、このバクテリアの繁殖してゐるような肉は、肉そのものが腐敗しかけてゐるから、注意しなければならないことになる。

(2) 發光バクテリアの寄生による動物發光。發光バクテリアが動物體に寄生してゐるために動物が光つてゐる例は多い。この場合にはバクテリアは一つの動物から他へと傳染するため、或る地域にゐる同じ種類



の動物の殆んど全部が感染していることがある。千葉縣佐原附近の天然記念物になつてゐる發光ヌカエビはこの好例である。ヌカエビの發光がバクテリアの寄生によるものであることは、初め長野縣諏訪湖のものゝで證明された<sup>1)</sup>。このバクテリアはエビに敗血症のような症狀を起させ、魚、鳥、鼠、モルモットなどにも病原的に作すが、人間や兎には無害である。

ミミズが發光する粘液のすじを、地上に引きながら、はう例は多くの人によつて報告されている。その他、ハマトビムシ、ユスリカ、ケラ、シロアリ、コゴネムシ、蝶・蛾の幼蟲などでも發光バクテリアに寄生されて光る例が知られている。

(3) 發光バクテリアとの共生による動物發光。マツカサウオ、ホタルジャコ、トウジン、ヒイラギ、チゴダラなどの魚、ケンサキイカ、ダンゴイカ、ミミイカなどの烏賊は準深海性ともいふか、比較的深い所に棲んでいるものであつて、それぞれ特有な發光器をもつている。この發光器は皮下に埋つてゐる一種の分泌腺で、その腺細胞が發光する。併しこの細胞内で發光するものは分泌顆粒ではなくて發光バクテリアである<sup>2)</sup>。發光バクテリアの寄生によつて動物が發光する場合には感染した個體だけが發光するのであるから、同じ種に屬する個體でも、發光しないものも相當いる。併し共生による場合には一つの種に屬するものは總ての個體が發光している。バクテリアはその宿主の腺細胞から榮養を得て生活を續

1) 矢崎芳夫：成醫會雜誌，45，1927.

2) 矢崎芳夫：Journ. Exp. Zool., 50, 1928.

矢崎芳夫・羽根田彌太：Proc. Imp. Acad., 12, 1936.

岸谷貞次郎：Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 5, 1930.

羽根田彌太：應用動雜，7，1935. 科學南洋，1，1938.

岸谷貞次郎：植物及動物，3，1935.

け、宿主はバクテリアの發光を利用して自己の周圍を照らしている。つまり両者は遠い祖先の時代から不可分の關係の共同生活をしているわけである。

この共生型の發光をする魚や烏賊は外國からも多數報告されている。まだ研究されない發光魚の中にも、この型に屬するものが相當多いのであろうと想像される。

3. 發光小動物の寄生による動物發光。青森灣の35—40mの深さにいるスポヤというホヤは發光しているが、これはスポヤ自身が發光するのでなくて、その體表面に棲んでいる多數の小さなハリヒモムシが發光しているためである<sup>1)</sup>。また相模灣の1000mの海底にいるクラテロモルファ (*Grateromorpha*) という海綿の發光も、海綿自身の發光でなくて、アルシオーパ (*Alciopa*) という發光毛足類がその上に棲んでいるためである<sup>2)</sup>。尤もこれらの寄生小動物の發光がまた發光バクテリアによるものかどうかは研究されていない。

4. 發光動物自身の自己發光。夜光蟲、ウミボタル、ヒカリミミズ(駿府城趾)、ホタルイカ、ホタル、ハダカイワシなどは我國にいる發光動物であるが、これらはその動物自身の發光作用で發光する。また多くの深海魚にはこの型のものが多い。

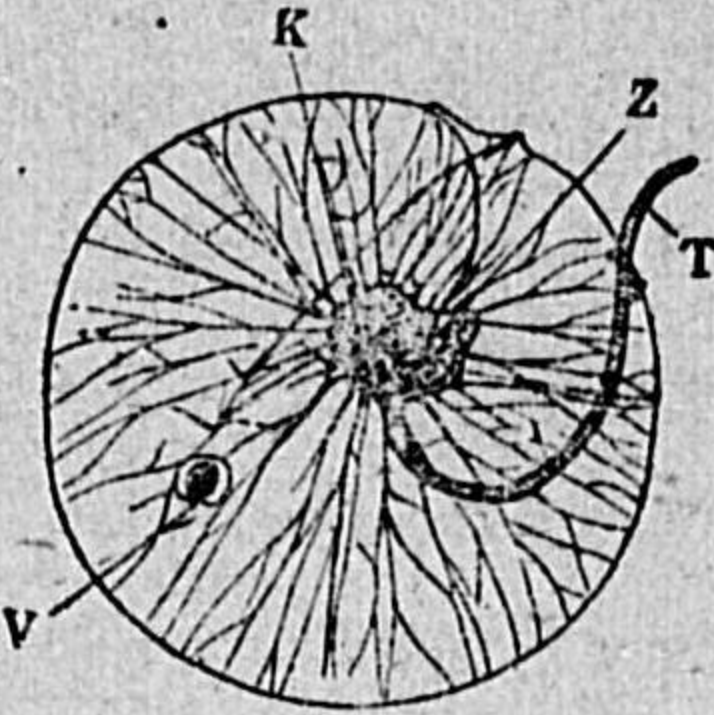
(1) 夜光蟲。日本に産する夜光蟲は學名を *Noctiluca scintillans* という種類であつて、これは世界中に廣く分布している。鞭毛類に屬する原生動物の一種であり、單細胞ではあるが、直徑は1mm前後に達するものもあるから肉眼でも注意すればみえる。晝間は淡紅色にみえ、これが

1) 加藤光次郎：Jap. Journ. Zool., 8, 1939.

2) 岡田要：Science, 62, 1925.



多数群集すると、海一面が桃色を呈することさえある。その體表面の一部には溝状の凹みがあつて、その底に口が開いている。口の前方には、齒状と瓣状との小突起が一つずつあつて、この瓣状突起の側から割合短い鞭毛が一本でている。細胞の内部には口に近く中央原形質塊があつて、そこから放射状に原形質網がでている。この中央原形質の附近には脂質の顆粒が多数集合しており、またこの種の顆粒は原形質網と細胞表面の内側にも廣く點在している。體内で發光する部分は主として中央原形質附近で、原形質網と、體表面内側も少し光る。そして著しく發光した後は上述の脂質が減るので、この脂質は、發光に際して消費されるのではないかと考えられている。



第23圖 夜光蟲 (Pratje) 構造. T 觸毛. K 核. Z 齒. V 空泡.

夜光蟲は常に發光しているのではなく、機械的でも、化學的でも、何か刺激が與えられたとき、閃光的に發光する。従つて發光している夜光蟲を生きのまま顯微鏡の視野の中に捕えて、觀察することは、中々のことである。ただ死んだ夜光蟲は光度は弱いが繼續的に光つている。

夜光蟲の發光は酸素がなければ起らない。また正常の夜光蟲でも、その體内は少しアルカリ性であるが、發光も酸性では起らない。夜光蟲の發光物質の化學成分も、その發光機構もまだ全く判つていないと云つてよい。

(2) ウミボタル。日本に産するウミボタルは學名を *Cypridina hilgendorffii* といつて、甲殻類の介形目に屬する體長3mm前後の小動物である。殆んど透明に近いキチン質の殻を被つているので、一寸みると二

枚貝の子供かと思われる。プランクトン的一種で、晝間は砂の中にもぐつたりして海底に沈んで居り、夜になると水面近く浮びでて餌を漁る。それで夜間に魚の頭などを吊しておいて採集する。

發光器は口の上唇部に埋まつている8個の分泌腺で、これから分泌された粘液が海水中に溶けて、コロイド溶液になると發光する。従つて發光器そのものが光るのではない。この分泌腺の細胞の中には、大きな黄色顆粒と、小さな無色顆粒とがある。粘液が海水にふれると、この二種類の顆粒は水に溶ける。後に述べるように前者はルチフェリンの母體であり、後者はルチフェラーゼの母體であらうと云われている<sup>1)</sup>。



第24圖 上 ウミボタル. 下 發光器の縱斷面. dr<sub>1</sub>-dr<sub>3</sub> 發光腺細胞; dr<sub>4</sub> 粘液腺; mpap 中突起; vpap 前突起. (高木)

(3) ホタル。日本に産する普通のホタルには、大形のゲンジボタルと小形のヘイケボタルとがある。前者は學名を *Luciola cruciata* と云い、後者は *L. lateralis* という。またヒメボタル *Hotaria parvula* という小形のもいる。三種のうちで最も廣く分布し、また数も多いのはヘイケボタルであつて、平安朝時代から螢狩りなどで、親しまれたのもこの種類

1) Harvey: Living light, 1910.

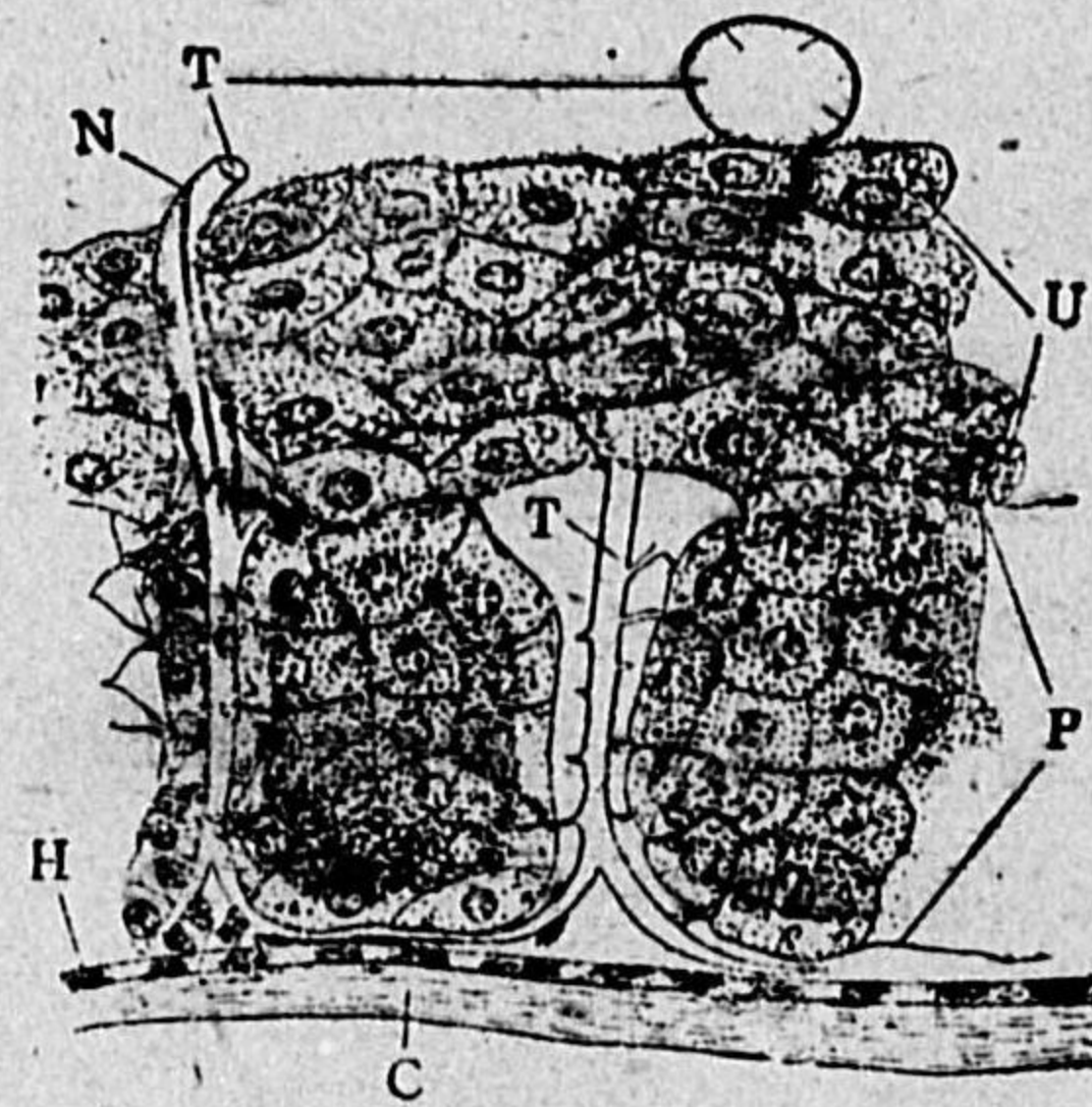


である。ホタルの幼蟲は住血吸蟲の宿主であるミヤイリガイを食べるので、益蟲とされているが、これも主としてイケボタルの仕事である。誰でも知つているように、このホタルの發光する部分は、腹部の後端の二腹節である。このホタルの幼蟲がまだ水中にいるときには、第八腹節の兩側に點狀の發光器がある。幼蟲が蛹となつて成蟲になり變る間に、この發光器は消滅して、新たに成蟲の發光器ができる。

成蟲の發光器は腹部の皮膚の下に埋まつていて、腺様の構造をしているが、分泌物を排出する管はない。第25圖に示すように、この部は發光細胞層と尿酸細胞層とに大別される。前者は皮膚に接して位置して、實際に細胞内發光をする層である。後者はその細胞の中に尿酸の結晶狀顆粒が充満して、發光細胞からでる光を反射する役をしている。一般に昆蟲では他の動物のグアニンの代りを尿酸がしていることが多い。發光細胞層には多くの氣管が分布して、十分な酸素の供給が

できるようになつてゐる。發光するのは、この發光細胞の顆粒である。發光層からでた光は反射層で反射されて外方に放射されるが、体内にはばいらない仕掛である。この關係は幼蟲の發光器でも同様である。

5. その他の發光動物。植物界で發光するものは、バクテリア、鞭毛



第25圖 ホタルの發光器 (Williams)  
U 尿酸反射細胞層. P 發光細胞層. T 氣管. N 神經. H 皮膚. C クチクラ層.

類、蠶類などで、比較的種類が少ないが、動物界では、哺乳類、鳥類、兩棲類を除くと殆んど全部門に互つて見出される。そのうち特にビトラ、クラゲの類、ミミズ、ゴカイの類、カイ、イカの類、ウミボタル、エビの類、ホタルなどの甲蟲の類、魚類には發光するものが多い。發光動物に関する研究論文も二千に達している。我國で記載された主なものには、上節に挙げた例の他に、ウミシヤボテン、オシロブシスというカブトクラゲの一種、メソケートプテルスというゴカイの一種、サクラエビ、カラフトボタル、チョウチンアンコ、ホオライエソなどがある。

一般に共生發光か自己發光かをしている動物は、夜間活動するものか、深海の暗黒の中に棲んでいるものである。殊に四五百米以下の深海に棲んでいる動物には發光するものが多い。不幸にして我國では今まで深海の探險を行つていないし、漁業も比較的浅い處を對象としているので、深海の發光生物はあまり採集されていない。Challenger (チャーレンジャー) 太平洋探險隊の記録によると、發光魚は400種(1種は6呎)くらいに最も多く、2750種の深さからも採取されている<sup>1)</sup>。またアメリカのバーミュダ沖の探險では93屬の深海魚が採集されたが、そのうち81%は發光魚であつた<sup>2)</sup>。このとき Beebe (ビーブ) 博士は特別な潜水函に入つて海面下1000mまで降つてみた。400mでは既に全く暗黒であつて、この邊から1000mまで多くの發光する魚類や甲殼類がみられ、特に一匹の魚は五條の發光器から紫と黄の光をだして非常に美しかつたという。深海は波もなく、温度の變化もない静寂そのものの世界であるため、ここに棲

1) Challenger 探險隊は1872—1876年にかけて主として太平洋の生物調査のために組織されたもので、採集品は世界各國の學者によつて研究され、膨大な報告書がでている。

2) Beebe: *Zoologica*, 22, 1937.



む魚類は一般に柔い組織をして居り、また植物はないから動物性の餌を食べておつて歯や顎の發達したものが多し。多くの發光魚は眼の下縁にある大きな發光器と、

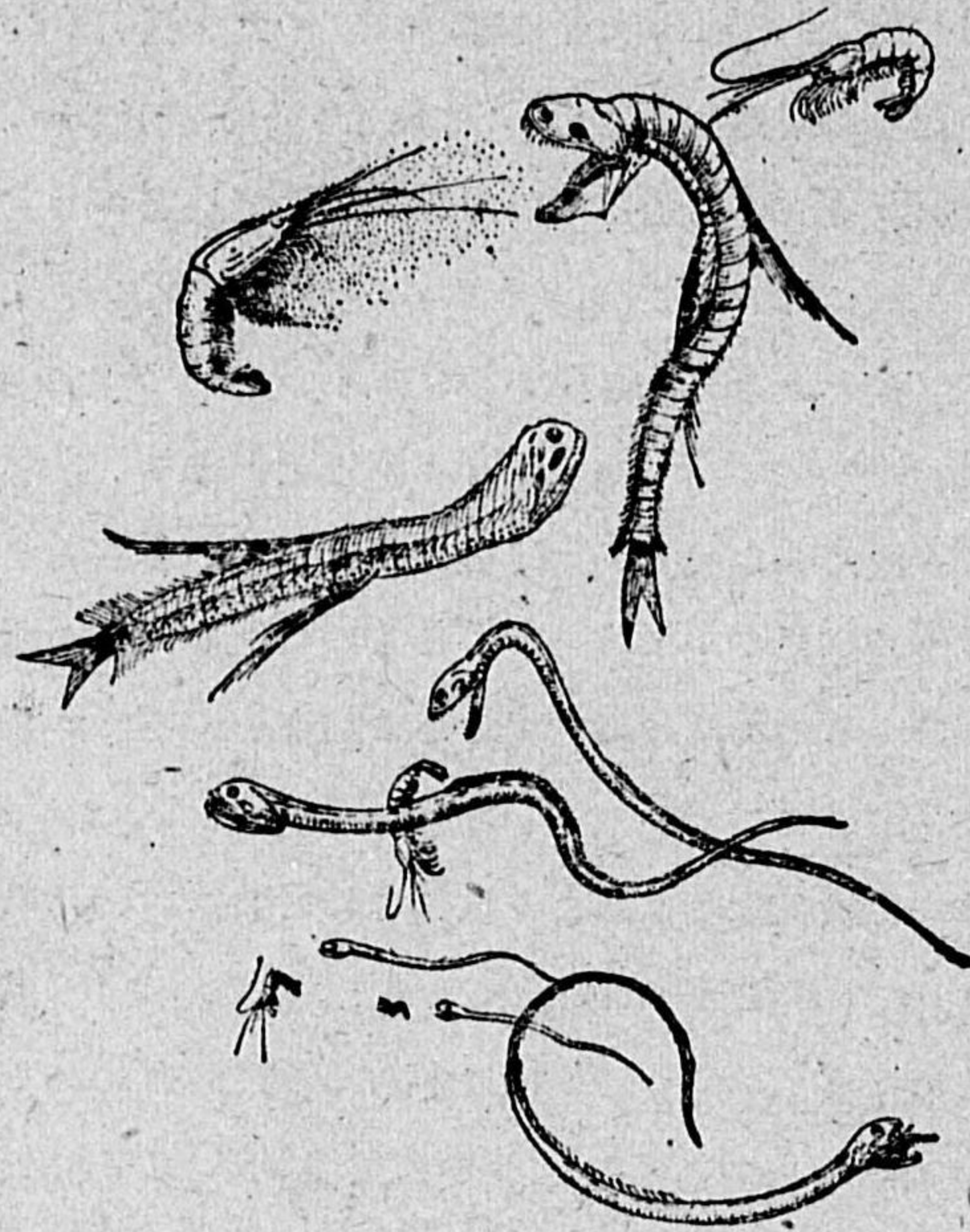
體表面に點線狀に排列している多數の小發光器をもつている。

これらの發光器は腺であるが、非常に深い處に棲むものでは、その構造が眼に似ていて、レンズや色素層を具えている。またチョウチンアンコのように、頭の中央から鞭狀の突起がでて、その先端が膨れて發光器となつてい

るものもある。アンコはこの提燈をゆら

ゆらふつて餌になる魚を誘きよせるのだらうと云われている。

深海動物の中で魚類と共に注意を引くのはコエビの類である。その發光するものは、眼と間違えられるほど、眼に似た構造の發光器を體表面の各所に多數もつている。ことに四五千米の深さにいる種類は大抵發光器をもつている。中でもパーミュダ沖にいるアカンテフィラ(*AcanthePHYRA*)



第26圖 深海魚。上 *Photostomias guernei* と深海發光エビ *AcanthePHYRA purpurea* (Geske) 下 *Idiacanthus fasiola*. (Bostelmann).

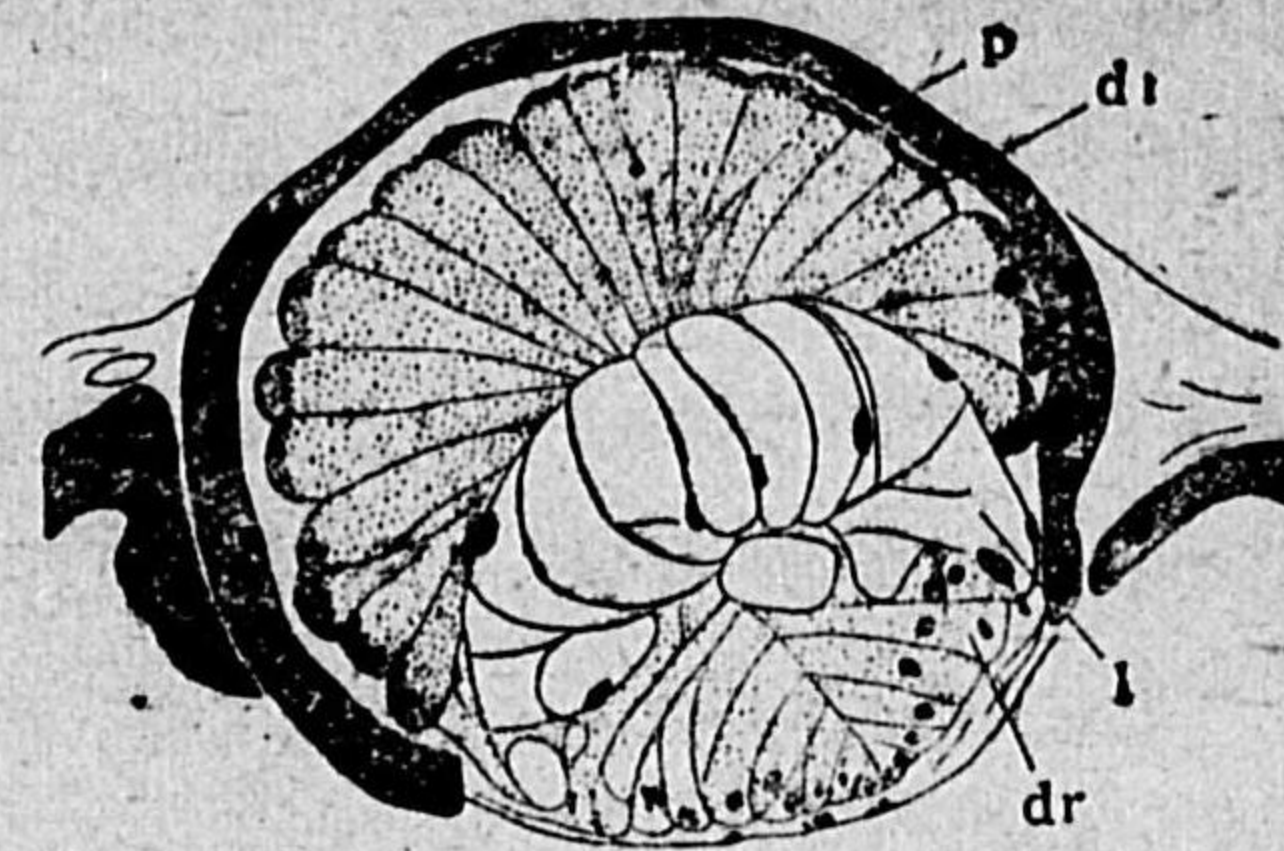
という種類は口の附近に發光器をもつていて、丁度イカが黒汁をはくように、何かに刺戟されると光汁を吐きながら逃げるという<sup>1)</sup>。またわれわれが吸物の實にする赤い乾

物のサクラエビは生きているときは無色に近く、發光器をもつている。この類のエビは日中は二三百米から五六百米の深海にいるが、夕暮になると海面近くへ上つて来て餌を漁り、翌朝また深みに入る。尤もこうした日週期的上下運動は發光エビに限つたことでなく、プランクトンにはその例が多い。

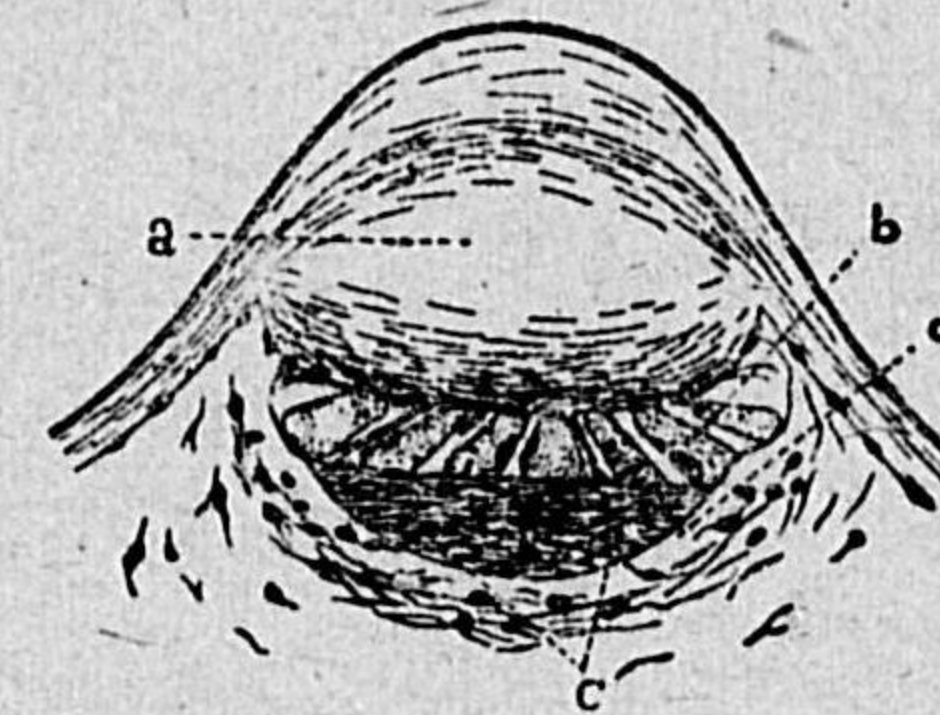
イカの類も深海發光動物中の著しいものであるが、印度洋の3000mの

深さからとれたリコトイテス (*Lycoteuthis*) というイカは四種類の發光器をもつていて、紺青色、空青色、赤色、白眞珠色の發光をするという。

このように動物界には發光する動物の種類も多く、その發光器の形も種々雑多であるが、その光が寄生發光、共生發光、自己發光の何れであるかを確實に決定されたものは比較的少い。この點、上節に述べたもの



第27圖 深海魚 *Stomias* の眼様發光器 (Brauer) p 色素層. dr 發光腺細胞. l レンズ様細胞.



第28圖 サクラエビの眼様發光器 (寺尾) a レンズ. b 發光細胞. c 反射細胞. d 色素層.

1) Harvov: Living light, Princeton Univ., 1940.



外は今後の研究に俟たねばならないものが多い。

最後に大切なことは、発光動物は、発光バクテリアや発光菌とちがつて常に光り続けているものではないということである。二三の例外を除くと、発光動物は何かの刺激を受けたときだけ発光するのであつて、その発光継続時間には動物の種類によつて長短いろいろの差がある。

6. 化学発光。上節に述べたように、発光動物の種類は非常に多い。そして動物の異なるにつれて発光器の構造も一々違つている。併し總ての動物発光に共通なことは、酸素がなければ発光しないということである。このことは牛肉の光るのを天體現象と結びつけて考えていた Boyle も、既に十七世紀に實驗して、光る牛肉の周囲の空氣を取り去ると発光しなくなると報告している。これは発光バクテリアの発光であるが、この場合にも酸化を伴うことは同様である。

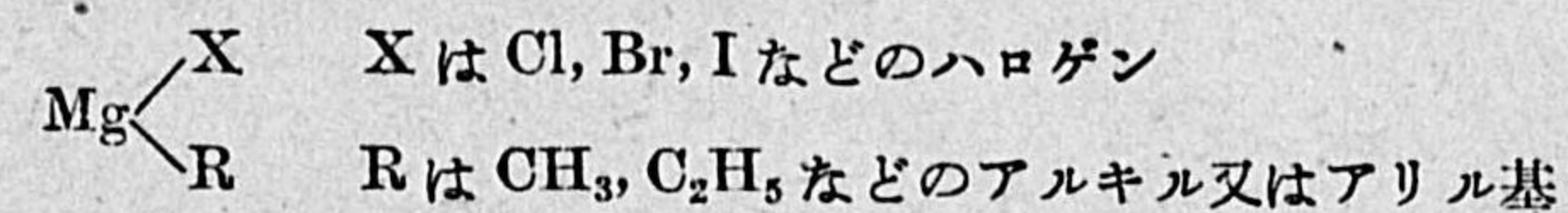
次に總ての動物発光に共通な現象は、光が熱を伴わない所謂冷光であることである。従つてこの発光は灼熱発光ではない。こういう冷光は化学発光にその例が多い。つまり一つの化学反應によつて、過剰のエネルギーが放出される場合に、これは熱として放出されることもあるが、光として放出されることもある。化学発光は後者の反應結果である。ところで、總ての発光動物で研究されたわけではないが、ホタル、ウミボタル、カメメガイなどの発光は、後節に述べるように酸化反應を含む化学発光であることが判つてきた。従つて現在のところ、他の動物発光もこの型に屬するものであらうと思われる。それで動物発光の機構に入る前に、生物體外で起し得る無機物、有機物の化学発光にふれてみることにしよう。

(1) 無機化合物。ナトリウムとカリウムの金屬の新しく切り開いた面を、空氣中で 60—70° に保つと、僅かに發光することは古くから知られて

いる。この發光は金屬面に起る酸化反應のためである。次にシロクセン (Siloxene) という硅酸鹽 ( $\text{Si}_6\text{H}_6\text{O}_9$ ) を過マンガン酸カリ、硝酸、過酸化水素などの酸化劑で酸化すると赤色に發光する<sup>1)</sup>。ところがシロクセンを液體空氣中で冷しながら紫外線をあてても赤色の螢光をだす。さうして上の酸化に伴つてでた赤色光と、螢光の赤色光とのスペクトルを比べてみると全く同じものである。そこで酸化によつて出る赤色光は、酸化されたシロクセン分子のだす遊離エネルギーが、まだ酸化されないシロクセン分子を活性化して起す螢光である。またシロクセンにエオジンやローダミン B のような螢光性色素を吸着させて、徐々に酸化すると、今度はエオジンの螢光色の緑光なり、ローダミンの螢光色の黄光なりがでてくる。これはシロクセンの化学發光の光によつて、エオジンが螢光するのでなくて、シロクセンの酸化エネルギーによつて螢光するのである。

この現象は、螢光が必ずしも光量子によらなくても、他の形の遊離エネルギーでも起り得ることを示すものである。これは極めて重要なことである。

(2) 金屬有機化合物。グリエール試藥 (Grignard's reagents) というのは、マグネシウムの不安定な化合物である。



これをクロロピクリン、酸素などで酸化すると綠色に發光する。またマグネシウム-フクロチアニンをテトラリンに溶して、過酸化水素などで酸化すると赤色に發光する。その他テトラベンゾポーフイリン、フェオポ

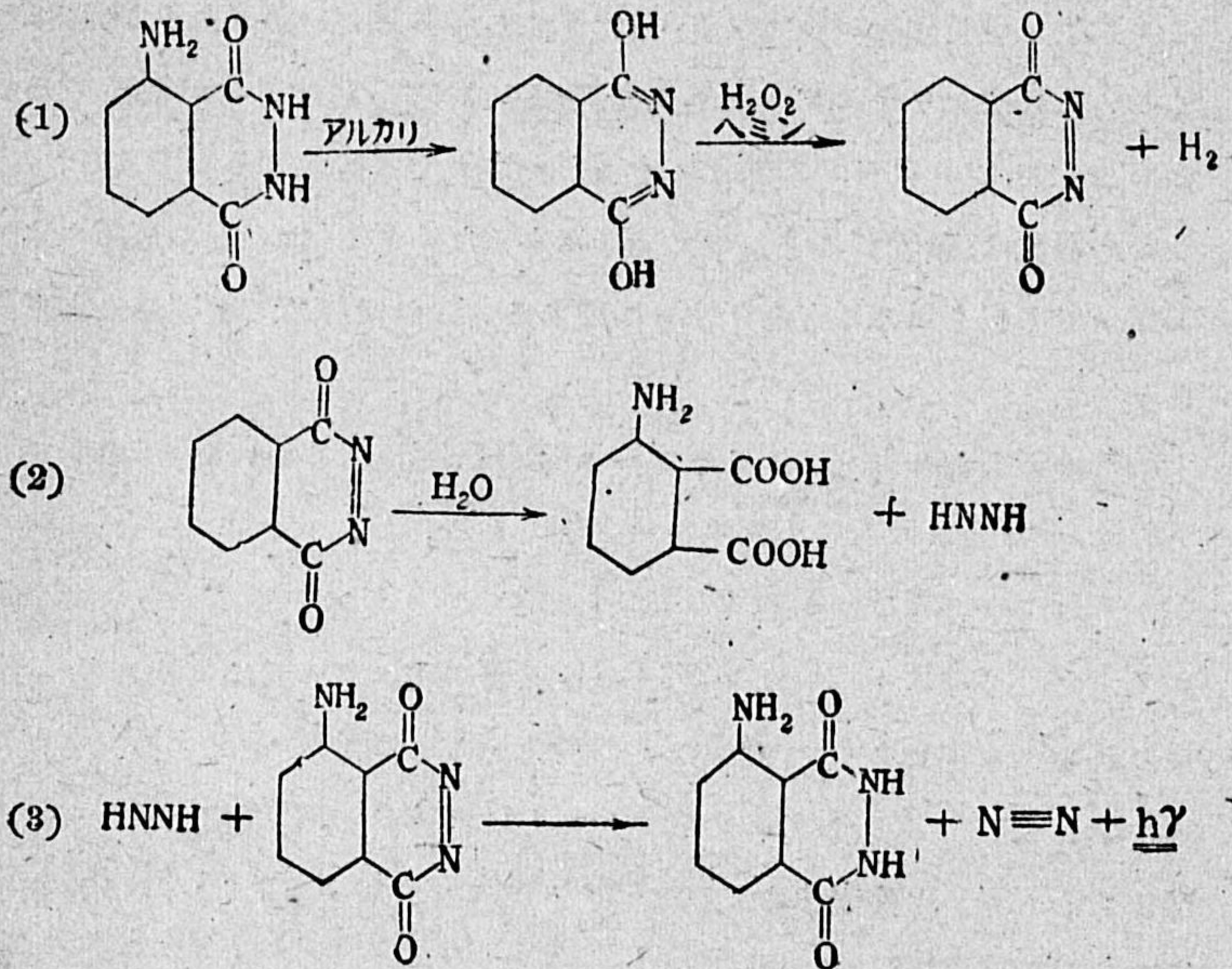
1) Kautsky: *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 117, 1921.

Kautsky & Holm: *Kolloidzeitschr.*, 75, 1936.



ーフィリンのマグネシウム化合物又は亜鉛化合物も同様に酸化すると赤色に発光する。

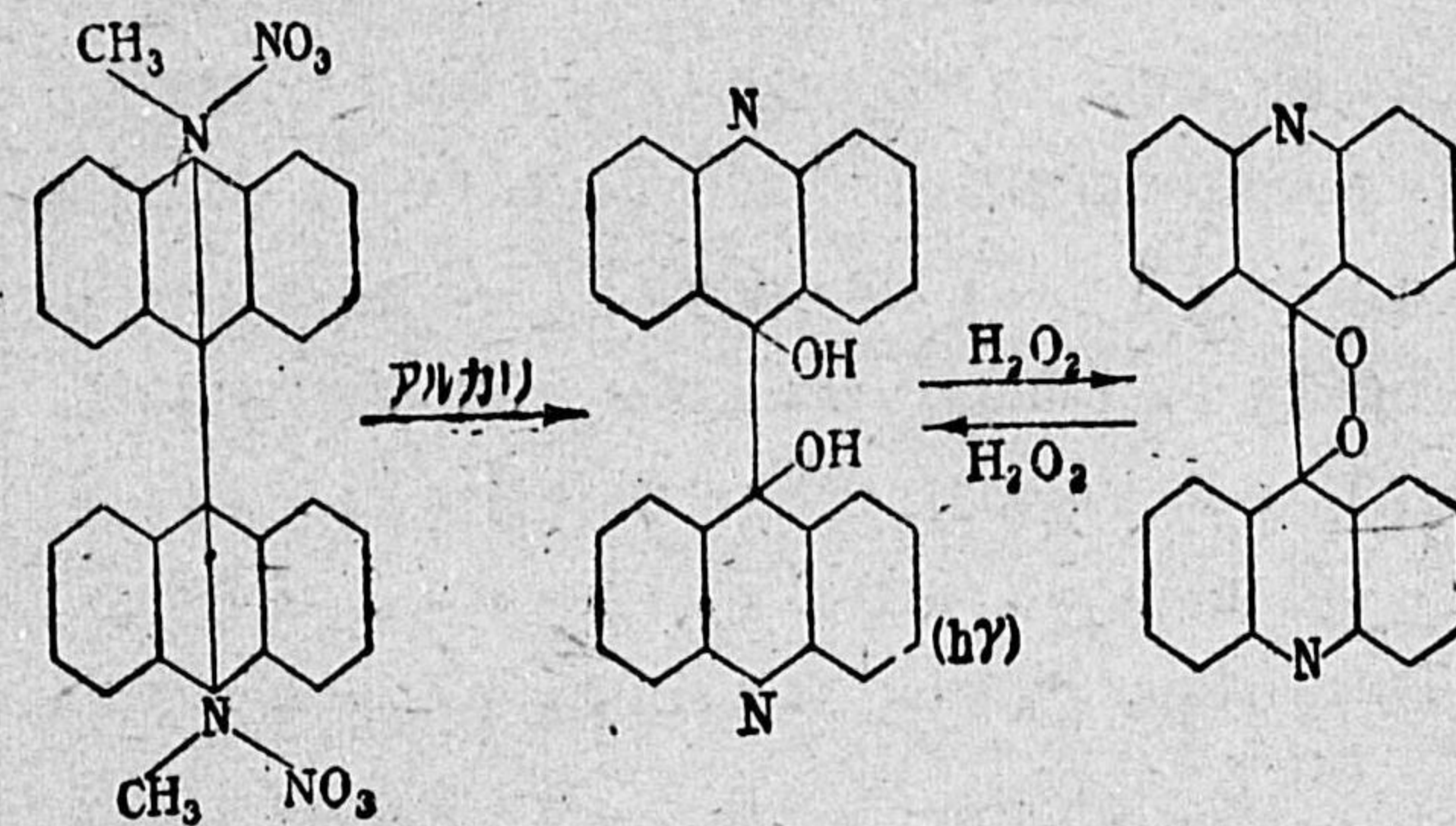
(3) 有機化合物. (a) ルミノール. この物質はアミノ・フタル酸ヒドラチッドであつて, アミノ基のついてゐる場所によつて, 二三の種類がある. 過酸化水素, オゾン, 赤血鹽その他の酸化剤で酸化すると紫青色の強力な発光をする. 殊にアルカリ性溶液内でヘミンを觸媒として, 酸化剤を作かせると著しい発光をするので, 逆に法醫學上の血痕証明に用いられている. その酸化反應には酸化と還元とが行われ, 発光は還元段階に於いて行われること, 次のようである<sup>1)</sup>.



1) Gleu & Pfanstiel: *J. Prakt. Chem.*, 146, 1936.

尤もこの還元段階(3)で発光するということは, 次に述べるルチゲエンの発光機構から想像したことであつて, 十分な實驗的事實に基くものではない。

(b) ルチゲエン. この物質は硝酸チメチルアクリチウムであつて, アルカリ性溶液内で過酸化水素のような酸化剤を作用させると, 緑色の発光をする. このとき四酸化オスミウムの如きを加えれば光力は尙増大する. この発光は現在知られている化學發光のうち最も強力なもので, ルミノール發光の100倍に當り,  $10^{-8}$ の濃度でも肉眼で見分けることができる. その發光機構は過酸化水素によつてカルピノールの過酸化物が先ずでき, これが再び過酸化水素によつて還元されてカルピノールに戻る二段階からなり, この還元反應に際して發光する<sup>1)</sup>.



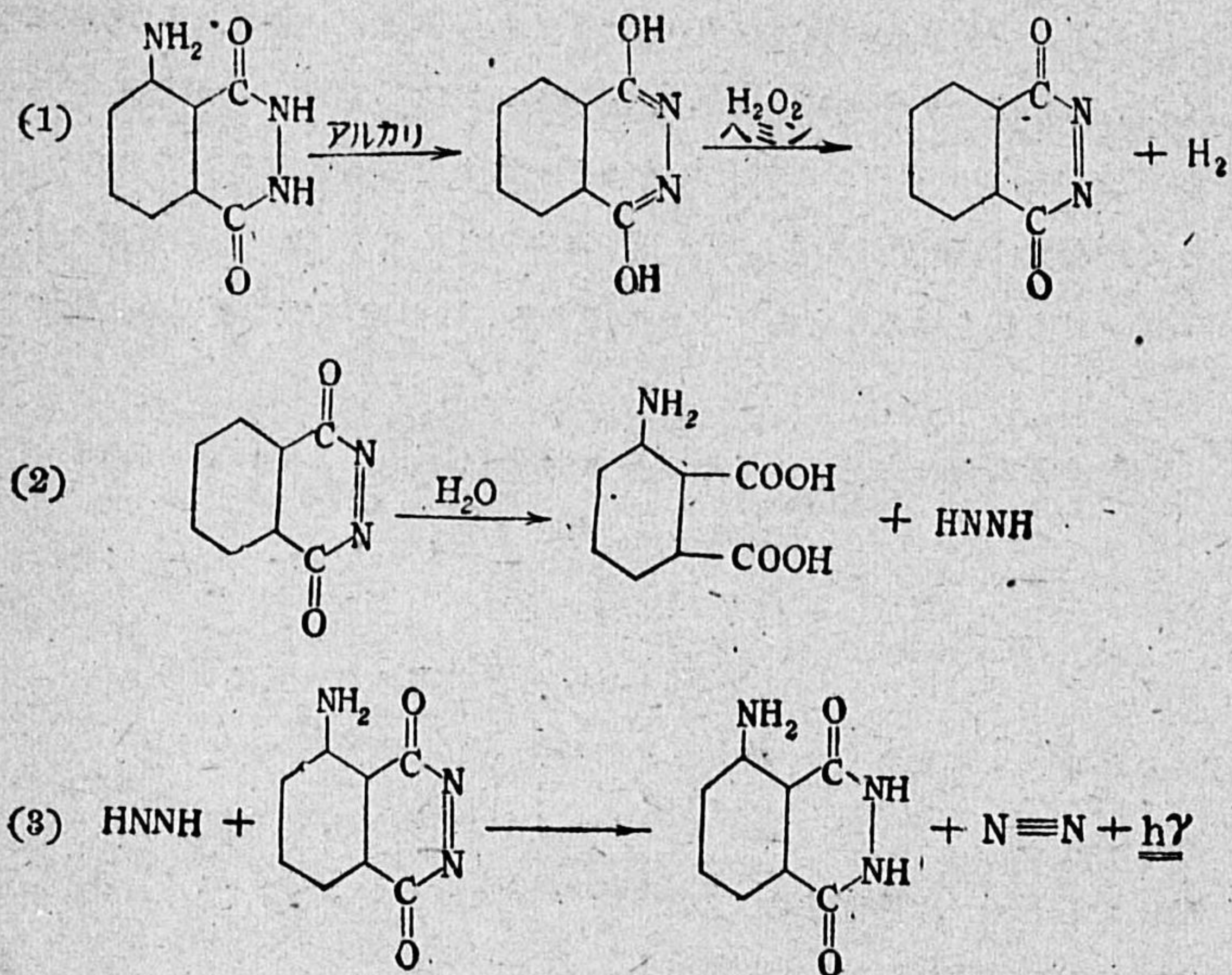
(c) その他の有機化合物. 種々な物質が酸化されるとき發光することは, 十八世紀頃から多くの人によつて報告されている. フォルムアルデ

1) Gleu & Petscher: *Angew. Chem.*, 48, 1935.



ーフィリンのマグネシウム化合物又は亜鉛化合物も同様に酸化すると赤色に発光する。

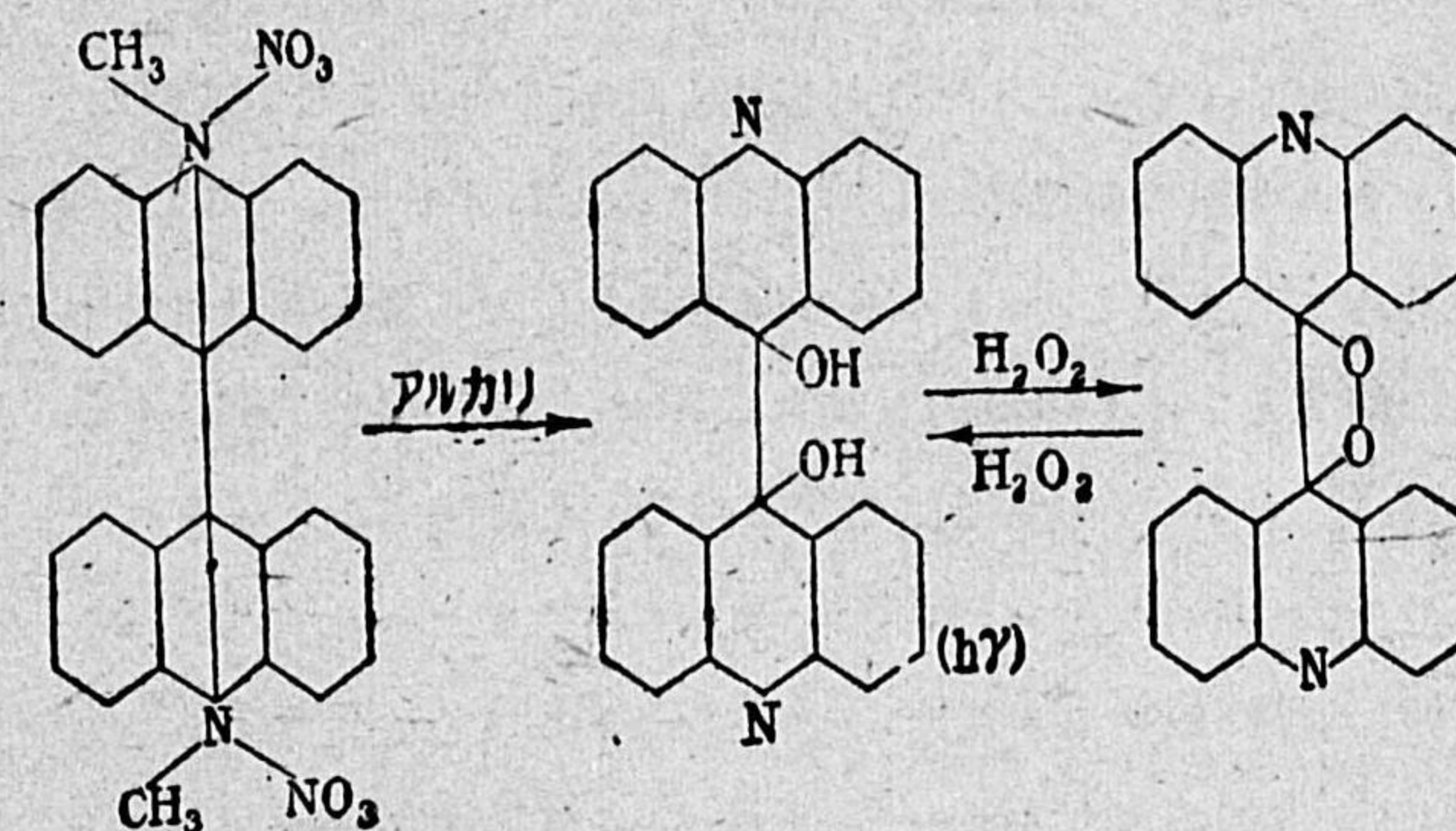
(3) 有機化合物。(a) ルミノール。この物質はアミノ・フタル酸ヒドラチッドであつて、アミノ基のついてゐる場所によつて、二三の種類がある。過酸化水素、オゾン、赤血鹽その他の酸化剤で酸化すると紫青色の強力な発光をする。殊にアルカリ性溶液内でヘミンを觸媒として、酸化剤を作かせるると著しい発光をするので、逆に法醫學上の血痕證明に用いられている。その酸化反應には酸化と還元とが行われ、発光は還元段階に於いて行われること、次のようであるという<sup>1)</sup>。



1) Gleu & Pfanstiel: *J. Prakt. Chem.*, 146, 1936.

尤もこの還元段階(3)で発光するという事は、次に述べるルチゲエンの発光機構から想像したことであつて、十分な實驗的事實に基くものではない。

(b) ルチゲエン。この物質は硝酸チメチルアクリチウムであつて、アルカリ性溶液内で過酸化水素のような酸化剤を作用させると、緑色の発光をする。このとき四酸化オスミウムの如きを加えれば光力は尙増大する。この発光は現在知られている化學發光のうち最も強力なもので、ルミノール發光の100倍に當り、 $10^{-8}$ の濃度でも肉眼で見分けることができる。その發光機構は過酸化水素によつてカルピノールの過酸化物が先ずでき、これが再び過酸化水素によつて還元されてカルピノールに戻る二段階からなり、この還元反應に際して發光する<sup>1)</sup>。



(c) その他の有機化合物。種々な物質が酸化されるとき發光することは、十八世紀頃から多くの人によつて報告されている。フォルムアルデ

1) Gleu & Petscher: *Angew. Chem.*, 48, 1935.



ヒド, パラアルデヒド, メタアルデヒドなどの種々なアルデヒド類, チオキシメチレン, アルデヒドアムモニヤ, アクロレイン, アクリルアムモニヤ, ヒドロペンツアミド, ヒドロアニサミド, アニシチン, ヒドロクミナミド, ヒドロチナミド, ピロガロール, その他多くのフェノール誘導體, ヒスチジン, アマリソ, ロフィン, エスキュリン, アスパラギン, 尿酸, パニリン, パパペリン, 膽汁酸, 葡萄糖, コレステリン, レチチン, グリコール酸, ツェレブリン, 人間の尿などである。特にロフィソはアマリンと共によく發光するので, 昔から注目されてきた。

(1) 生體內螢光性物質による發光。一體螢光ということは, 第3章でも述べたように, 一つの物質が光のエネルギーを吸収して活性化されたとき, 元の安定な状態に戻るために, この過剰エネルギーを再び光のエネルギーとして放出する現象である。つまり螢光性物質は他のエネルギーを吸収し易くもあり, また放出し易くもある性質をもっている。云わば光のエネルギーの傳達體として作っているわけである。この立場から一步を進めて考えると, エネルギー傳達體としての螢光性物質の中には, 次の型の傳達をするものがありはしないかという疑問が起る。R<sub>0</sub>は螢光性物質, R<sub>1</sub>はR<sub>0</sub>が化學變化を受けたものを意味する。

- (1) 光エネルギー → R<sub>0</sub> → 光エネルギー
- (2) 光以外のエネルギー → R<sub>0</sub> → 光エネルギー
- (3) 光以外のエネルギー → R<sub>1</sub> → 光エネルギー
- (4) 光以外のエネルギー → R<sub>1</sub> → 光以外のエネルギー

(1)は普通の螢光現象であり, (2)は前節に述べたシロクセンの發光に當つて, これに吸着されたエオジソの螢光の場合である。

著者は動物體に廣く分布しているリボフラビンとピロールクロームと

の螢光性の意義をこの方面にも求めてみようを試みた。

最初にこの問題に利用したのは, 果糖の酸化現象である。果糖は鐵觸媒と共存すると弱アルカリ性溶液内で, 空氣中の酸素によつて著しい酸化をする。そこで,

果糖+0.5% NaOH+ヘミン+空氣+螢光性物質

の反應系を作つてみた。螢光性物質としてはリボフラビン, ピロールクローム, アントラニール酸, アクリチン, リバノール, ルミノールを用いた。いずれの場合でも空氣を十分に供給するため振盪すると, 光の強弱の差こそあれ, 皆發光する。この發光のスペクトルと, 用いた螢光性物質の螢光スペクトルとを比較しなければ, 上の現象の分析はできない。併し, 加えた螢光性物質は0.5% NaOHの中では螢光し得ないものである。従つて以上の結果は上の(3)の可能性を示すものと考えられる。

次に試みたのは, 上の反應系の中の果糖を, 他の容易に酸化し難い生體內物質でおきかえてみることであつた。即ち

0.5% NaOH+ヘミン+被酸化物+空氣+ピロールクローム又はリボフラビン

の反應系である。被酸化物としては, 葡萄糖, ソルボーズ, ガラクトーゼの六炭糖, キシローゼ, アラビノーゼの五炭糖, グリセリンアルデヒドなどの糖類, 酪酸, 油酸, コレステリン, レチチン, トリプトファン, チオキシフェニールアラニンを用いた。何れの場合も光力は弱いが発光した。

次に發光性の強いルミノールを螢光性物質として用いてみると, 被酸化物としては可なり廣範圍な物質を加えても上の反應系は發光する。即ち種々な三炭糖, 五炭糖, 六炭糖, 蔗糖, 澱粉, コンニャク粉, 寒天などの炭水化物, 蟻酸, 醋酸, 酪酸, 油酸などの脂肪酸, 乳酸, 琥珀酸, 林檎酸, フマー



ル酸、酒石酸、枸橼酸、蓆酸などの有機酸、その他コレステリン、レチチン、トリプトファン、チオキシフェニールアラニン、アクリチン、リバノールを加えても皆発光する。

以上の結果から、リボフラビンとピロールクロームとは、叙上の生体内有機物質の酸化反応によつて化学變化を受け、その際生じる過剰エネルギーを光量子として放出する可能性がある。つまり上述の(3)の型に属する。元より生体内には0.5% NaOH というようなアルカリ性は存在しないが、これに代るべき酵素や作用物質はあるかも知れない。

とは云え、これだけの事実で、動物発光がリボフラビンやピロールクロームの発光であるとは云えない。むしろ動物発光がこれらとは別な螢光性物質の発光であることは次節に述べる通りである。

第8章に述べたように、光化学的増感性を有する色素では、類似の化学構造をもつたもの同士でその増感能力を比べると、螢光能力の弱いものが却つて増感能力は強いという事実がある。このことは上述の(4)の傳達型を示唆するものようである。

若しリボフラビンが(4)の型の傳達體として作り得るなら、これが動物発光のみならず、一般生理化学現象に対しても大きな役目をし得ることとなる。この点から、(4)の型の存否は今後十分探究されなければならない問題である。

7. ルチフェリン。動物発光が化学発光の一種であるということは、十九世紀半ばから唱えられていたが、これを確立したのは Dubois (デュボア) であつた。1885年にキューバのヒカリコメツキ (*Pyrophorus noctilucus*) と地中海沿岸のカモメガイ (*Pholas dactylus*) とから、それぞれルチフェリンとルチフェラーゼという物質を分離して、この二物質を混

ぜたものに酸素を供給すると発光することを確めた<sup>1)</sup>。その後、多くの人によつて他の発光動物に就いても研究されたが、今迄のところ、ルチフェリン・ルチフェラーゼによる発光はヒカリコメツキ、ホタル類、カモメガイ、ウミボタル類、アカンテフィラ (*Acanthephyra*) というエビなどだけで實證されていて、夜光蟲をはじめ、クラゲ、ヒドラ、ミミズ、多くのエビ、イカ、タコ、ホヤ、魚などではまだ證明されていない。元より今のところではこの型の発光がないのであるか、ルチフェリンとルチフェラーゼの抽出ができないのであるかは判らない。

またルチフェリン・ルチフェラーゼの詳しい研究は殆んどウミボタルのものだけである。これは研究材料を容易に多量に採集できるということと、発光物質が抽出し易いという研究上の便宜から自然そうなたにすぎない。例えばホタルの発光物質を抽出することは非常に困難である。またこれを多量に得ることも困難である。

この化学発光はルチフェリンがルチフェラーゼの酵素作用で酸化され、そのとき酵素が使われるという化学反応系のどの段階かで起るものである。普通には、ルチフェラーゼの酵素作用で酸化されたルチフェリンが発光すると云われるが、後にも述べるように、発光がどの段階で起るかはまだ判っていない。併しルチフェラーゼが酸化酵素であり、ルチフェリンがこれによつて酸化するという事は確かである。

異つた種類の動物からとつたルチフェリンは元より互に同一な物質ではないが、また共通な性質ももっている。これに反してルチフェラーゼは動物の種類によつてそれぞれの特異性が著しい。例えば日本産ウミボタルの発光色は青であつて、ジャマイカ産のものは黄であるが、ジャマイカ

1) Dubois: *C. R. Soc. Biol.*, 37, 1885.



産のルチフェリンに日本産のルチフェラーゼを作かせると青に発光し、日本産のルチフェリンにジャマイカ産のルチフェラーゼを作かせると黄に発光する<sup>1)</sup>。

(1) 抽出. ウミボタルを乾燥して粉にし、これに水を加えて二三分間100°に熱して、ルチフェラーゼを破壊する。冷却後ベンゾールを加えて、よくふり脂質を取り去る。これにメタノールを多量に加えて抽出し、アルコールを減圧蒸溜する。この方法は可なり粗雑なやり方であるが、もつと手のこんだ方法は Anderson (アンダーソン) の報告にある<sup>2)</sup>。

(2) 性質. ルチフェリンは水、稀酸、稀アルカリ、メタノール、ブタノール、90%アセトンに溶けるが、エーテル、クロロホルム、石油エーテル、ベンゾール、二硫化炭素には溶けない。水溶液に隣タングステン酸、タンニン酸などを加えると沈澱するがピクリン酸ではしない。100°の熱に堪え透析膜を通る。アルカリ性溶液内では容易に自動酸化をするが、酸性溶液内では安定である。トリプシン、ペプシンで消化されない。光の下で螢光する。

(3) 化学構造. ルチフェリンの化学構造はまだ判らない。ポリオキソベンツォールであろうという説<sup>3)</sup>もあるが、窒素を含まないでパラチオキシフェノール核を有するケトアルコール (R·CO·CH<sub>2</sub>OH) の一種であるという説<sup>4)</sup>もある。

(4) 酸化. ルチフェリンを酸化すると、ルチフェラーゼを加えても発光しなくなる。このような酸化ルチフェリンを硫化水素、発生機水素、次

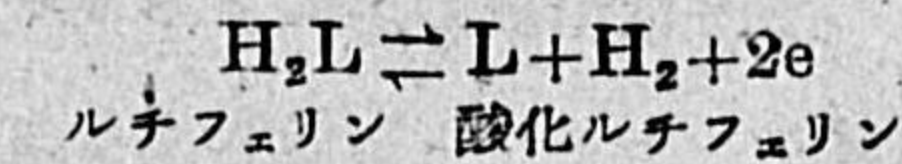
1) Harvey: *Amer. Journ. Physiol.*, 70, 1924.

2) Anderson: *Journ. gen. Physiol.*, 19, 1935.

3) Anderson: *Journ. gen. Physiol.*, 19, 1935.

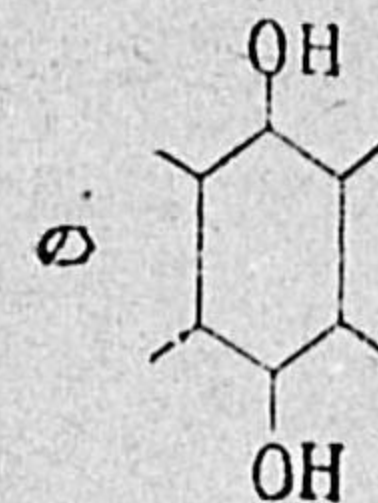
4) Ballentine: *Journ. Amer. Chem. Soc.*, 63, 1941.

亜磷酸鹽などの還元剤で処理すると、再び元のルチフェリンになつて、ルチフェラーゼで酸化発光する。この酸化は脱水素的酸化であつて、



の式で現わされる。酸化が強く起れば、酸化ルチフェリンは更に酸化されて破壊する。

ウミボタルのルチフェリンはルチフェラーゼで酸化したときだけ発光し、その他の酸化剤で酸化したのでは発光しない。つまり酸化の仕方に発光するものとしめないものとの二型ある。併しカモメガイのルチフェリンは過酸化水素や過マンガン酸カリで酸化しても発光する。ウミボタルのルチフェリンを普通の酸化剤で酸化してできた酸化ルチフェリンは還元し易いが、ルチフェラーゼで酸化されたものは還元しにくい。つまり後者では不可逆的酸化が伴う。Ballentine<sup>1)</sup>は R·CO·CH<sub>2</sub>OH の R の中



は可逆的酸化をするが、-CO·CH<sub>2</sub>OH は不可逆的酸化を

するという。ルチフェリンの酸化が光によつて促進されることはその螢光性と關聯して興味ある問題である。

(5) 分布. ウミボタルのルチフェリンは發光腺細胞中に含まれている黄色顆粒であるらしい。併しホタルのルチフェリンは體全體にあつて、發光器の中の顆粒はルチフェラーゼであると云われている。尤もこの點は今後尙十分な研究を要する。

1) Ballentine: *J. Amer. Chem. Soc.*, 63, 1941.



### 8. ルチフェラーゼ.

(1) 抽出. ウミボタルの乾燥粉末を水で抽出し、これを発光しなくなるまで十分に振盪する。つまり抽出液の中にあるルチフェリンを十分に酸化してしまう。次に硫酸アンモニウムを飽和するまで加えていくと、ルチフェラーゼは他の蛋白質と共に沈澱する。この沈澱を水に溶かして、20時間流水で透析し、鹽類を取り除く。この溶液に更に2%の昇汞を加えて残りの蛋白質を沈澱させて濾過する。濾液を十分透析して昇汞を除去して、真空蒸溜する。実際には最後の真空蒸溜はしないで実験に使うことが多い。

(2) 性質. 水、稀酸、稀アルカリに溶けて膠質状になる。アルコール、エーテルなどの脂質溶媒には溶けない。燐タングステン酸、ピクリン酸、醋酸鉛、タンニン酸などで沈澱する。透析できないし、熱に対して不安定で40°でも破壊される。ペプシンで消化され、また兎に注射するとアンチルチフェリンができる。以上の諸性質からルチフェラーゼは蛋白質を含んでおり、一種の酵素であるとされている。ウミボタルの分泌細胞内の無色顆粒がこれを含んでいるようである。

(3) 動物の種類による特異性. エスキュリン、ロフィン、アマリン、ルミノール、ルチゲニンなど化学発光しやすい物質にウミボタルのルチフェラーゼを作かせても発光しない。ホタルのリチフェリンにウミボタルのルチフェラーゼを加えても発光しない。つまり、ルチフェリン、ルチフェラーゼは動物の種属の異つたもの同士では作き合わない。併しウミボタルと、これに極めてよく似たピロシプリス(房州では二つともアンケラという)同士では動物の属は異つても互に作き合う。またフォチュリス(*Photuris*)とフォティヌス(*Photinus*)は何れも西洋ボタルであるが、この属の異つたもの同士では作き合う。この場合フォチュリスの発光

は赤色で、フォティヌスのは黄色であるが、フォチュリスのルチフェリンにフォティヌスのルチフェラーゼを作かすと黄色に発光し、その逆の組合せでは赤色に発光する<sup>1)</sup>。前節にもウミボタルの異つた種類間での組合せのことは述べた。これらによつてみると、ルチフェラーゼは動物の種によつて、特異性を持つていて、発光の色調はルチフェラーゼで決定されるらしい。

9. フォトフェライン. カモメガイの発光している分泌物は時間と共にだんだん発光しなくなる。こうして全く発光しなくなつたものに、エーテルやサポニンの如き細胞崩溶性物質を加えると、再び発光し始める。カモメガイの発光器以外の組織の海水抽出液や、全く発光器をもたないイガイの海水抽出液も細胞崩溶性であつてサポニンのように上の再発光を起させる。以上のことからこれらの細胞崩溶性物質は発光分泌液中の顆粒の表面張力を變化させて、ルチフェリン・ルチフェラーゼが互に作用し合ひ易くすると考えられる。つまり、一旦発光しなくなつた分泌液中には、まだ発光能力を持つていながら、その顆粒の膠質状態が発光に不適当なために発光しないでいるものが残つている。このような顆粒に対してサポニンなどが表面活性的に作きかけて、発光しやすくする。こうした細胞崩溶性物質をフォトフェラインという。

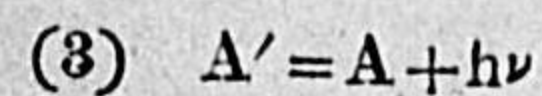
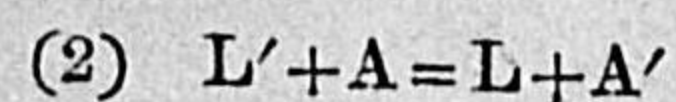
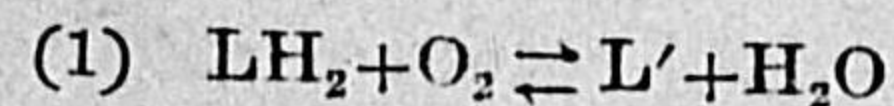
テントウムシ、コメツキ、カイコ、蠶蛹などは発光しないが、その体内には一種の物質を含んでいて、この抽出液を、ウミボタルの既に発光を終つたルチフェリン・ルチフェラーゼ液に加えると再び発光を起させる。これはこの物質が、上のフォトフェラインとして作くためであるか、酸化ルチフェリンを還元するためであるかは尙追及を要する。

1) Harvey: *Science*, 46, 1917.



10. ルチフェレツェイン. 多くの発光生物の発光分泌物中には螢光性物質が含まれている. とくにヒカリコメツキ, ホタル, 多くの深海発光魚, 発光クモヒトデなどに含まれているものは強い螢光性をもっている. これをルチフェレツェインという. この螢光の光は発光の光とは異つたスペクトルを示し, 螢光の波長は発光の波長より短い例が多い. 従つてこの物質の螢光そのものが発光の直接原因となることはない. 併し後にも述べるようにこの物質が発光機構の中に介在して, 重要な役目をしている可能性は十分にある.

11. 発光機構. ルチフェリン・ルチフェラーゼによる発光機構はまだ十分に判つていない. ここには Harvey (ハーベ) のウミボタルに就ての説<sup>1)</sup>を紹介するに止めたい. この発光系の光の強さはその中に含まれているルチフェラーゼの濃度とそこで起る化学變化の量とに比例する. つまりここではルチフェラーゼは (1) 酸化酵素としてルチフェリンの酸化を促すことと, (2) 発光エネルギーの傳達體として働くことの二つの役目をしているようである. そこで Harvey は次の機構を假定している.



$\text{LH}_2$  はルチフェリン,  $\text{L}'$  は酸化ルチフェリンであるが活性化されているもの,  $\text{A}$  はルチフェラーゼ,  $\text{L}$  は安定なルチフェリン,  $\text{A}'$  は活性化されたルチフェラーゼ,  $h\nu$  は光量子である.

最後に著者がつけ加えたいことは, 動物発光の機構の中にリボフラビンやピロールクロームなど螢光性物質の介在する可能性である. これに

1) Harvey: Living light, 1940.

就いては Chase(チーズ)<sup>1)</sup>の次の実験もある. ルチフェリンとルチフェラーゼとのあまり純粋でない抽出液が発光しているとき, 外から光をあてると, 発光が止む. これはルチフェリンの酸化が光によつて促進されてそこにあるルチフェリンが全部酸化ルチフェリンに變化するからである. 然るに純粋なルチフェリン・ルチフェラーゼの溶液が発光している場合には, 上の光の効果はみられない. これにリボフラビンかウミボタルの抽出液かを加えると上の効果が起る. このことはリボフラビンがルチフェリンの光化学的酸化に對して増感質として働くことを示すものである. 前節に述べたルチフェレツェインの意義もここに見出されるかも知れない. そうしてこれらの螢光性物質は第6節「化学發光」の項で述べたように, 單に光化学的増感質として作くに止まらず, 光以外のエネルギー傳達體として働く可能性が豫想される. 多くの動物のルチフェリン顆粒が黄色を呈しており, この色素がカロチノイド系のものでなくて, リボフラビン系のものであることは, 上の可能性を物語るものであるかもしれない.

1) Chase: J. Cell. Comp. physiol., 15, 1940.



## 索引

ア 行		カ 行	
アカンテフィラ ( <i>Acanthephyra</i> )	146	解糖作用 (Glycolysis)	93
アセチルコリン (Acetylcholin)	75	カエル (Frog)	69, 74, 83, 87, 88, 90, 93, 112, 113, 132, 136
アドレナリン (Adrenalin)	73, 75, 107	化学線 (Chemical rays)	10, 12
アミノ酸 (Amino acid)	47	化学発光 (Chemiluminescence)	26, 28, 148
アミン (Amine)	106	可視線 (Visible rays)	11, 13
アムモニヤ (Ammonium)	91, 92, 93	カモメガイ ( <i>Pholas</i> )	154
イオン化 (Ionization)	43	ガラス (Glass)	21, 23
イカ (Cuttle-fish)	68, 73, 79, 88, 121, 147	感杆 (Rhodome)	78
色 (Color)	13	偽足運動 (Amoeboid movement)	129
ウグイス ( <i>Horcites</i> )	108	吸エネルギー反応 (Endoenergetic reaction)	31
宇宙線 (Cosmic rays)	9, 11	吸収係数 (Absorption coefficient)	13
ウビオルガラス (Uviolglass)	22	共生発光 (Symbiotic luminescence)	140
ウミシヤボテン ( <i>Cavernula</i> )	126, 145	グアニン (Guanin)	67, 68
ウミボタル ( <i>Cypridina</i> )	141, 142, 155	クサントファン ( <i>Xanthophane</i> )	87
X-線 (X-rays)	9, 11	クセノパス ( <i>Xenopus</i> )	72
H-物質 (H-substance)	126	グリニアル試薬 (Grignard's reagents)	149
N-線 (N-rays)	7	グロットス・ドレーパーの法則 (Law of Grotthus-Draper)	30
エルゴステリン (Ergosterol)	94	クロロファン ( <i>Chlorophane</i> )	87
圓錐細胞 (Cone-cells)	78, 89, 90, 91, 92	螢光 (Fluorescence)	26, 37
焰発光 (Pyroluminescence)	28	結晶発光 (Crystalloluminescence)	27
オキシチラミン (Hydroxytyramine)	106	コエビ (Shrimp)	63, 69, 73
黄細胞 (Xanthophores)	68		
オゾン (Ozon)	16, 36, 43		
音発光 (Sonoluminescence)	28		







6162

166

索引

ポーフイロブシン (Porphylopsin) 83

マ行

摩擦發光 (Triboluminescence) 26, 27

マツカサウオ (Pine-cone fish) 140

水 (Water) 20

ミミズ (Earth-worm)

55, 57, 67, 133, 140

ムクドリ (Starling) 109

眼 (Eye) 78

メラニン (Melanin) 67, 76, 78, 120

網膜 (Retina) 79, 92

ヤ行

夜光蟲 (Noctiluca) 138, 141

夜光塗料 (Luminous paint) 26

夜盲症 (Night-blindness) 85

有色油球 (Colored oil globule) 87

誘導物質 (Inducing substance) 136

夜飼 (Yogai) 107

ラ行

ラクトフラビン (Lactoflavin) 100, 102

リコトイチス (Lycoteuthis) 147

リボフラビン (Riboflavin)

38, 48, 76, 101, 124, 152, 161

磷光 (Phosphorescence) 26, 38

ルチゲニン (Lucigenin) 151

ルチフェラーゼ (Luciferase)

154, 158, 160

ルチフェリン (Luciferin) 154, 160

ルチフェレットツェイン (Luciferescin)

160

ルミノール (Luminol) 150

冷光 (Cold light) 25, 148

濾光障 (Filter) 24

ロードプシン (Rhodopsin) 83

昭和22年8月1日 初版印刷

昭和22年8月5日 初版發行



光と動物 [生物學集書2]

定價 65 圓

著者 とう だ とく すけ  
合 田 得 輔  
東京都千代田區神田小川町3ノ8  
發行者 河 出 孝 雄  
東京都千代田區神田三崎町2ノ12  
印刷者 堀 鐵 判  
東京都千代田區神田淡路町2ノ9  
配給元 日本出版配給株式會社

東京都千代田區神田小川町3丁目8番地

發行所 河 出 書 房

振替東京10802番  
電話神田2347番  
會員番號A111014

印刷・株式會社 加藤文明社



・生物學集書・ 合田得輔・服部靜夫先生の企畫及び編輯指導

1. 性現象のホルモン學*	東大教授・理博	竹 協	深
2. 光 と 動 物*	東大教授・理博	合 田 得 輔	
3. 細胞學の近代的發展	東大講師・理博	湯 淺	明
植物の器官形成	廣島高師教授・理博	藤 田 哲 夫	
動物の血液	浦高教授・理博	沼 野 井 春 雄	
蚊の生物學	東京都細菌検査所	細 井 輝 彦	
植物の分布	北大教授・理博	館 脇	操 三
動物の行動	東大助教授・理博	菊 池 健 三	
動物の消化生理	文理大教授・理博	高 槻 俊 一	
動物細胞の増殖と分化	東大助教授・理博	藤 井 隆	
酸 酵	岩田植物生理・理博 化學研究所	奥 貫 一 男	
植物の生殖	一高講師・理博	石 川 光 春	
植物の發生	北大助教授・理博	猪 野 俊 平	
動物の心理	北大教授・理博	内 田 亨	
植物の運動	京大教授・理博	芦 田 讓 治	
植物生活と水	九大教授・理博	瀨 瀨 理 一 郎	
動物の生態	帝大臨海所・理博 帝大臨海所	宮 地 傳 三 郎	
動物生理學實驗の輪廓	名大教授・理博	山 本 時 男	
光週期反應	北大教授・理博	吉 井 義 次	
動物の社會群體	文理大教授・理博	丘 英 通	
酵素と物質代謝	文理大教授・理博	三 輪 知 雄	
遺傳學の近代的發展	京大教授・理博	木 原 均	
動物の變化	名大助教授・理博	石 田 壽 老	
動物の遺傳	都立高師教授・理博	森 脇 大 五 郎	

—以下續刊

(\*印既刊) A5判, 150頁前後, 定價不同

河 出 書 房



30.11.20



481.5  
G55

481.5-G55



1200500743635

終