

植物の生長と気象*

丸 山 栄 三**

1. はじめに

最近食糧危機が問題視されている。世界人口は急増し、食糧生産が将来追いつかなくなることが心配されている。また世界的な異常気象のため食糧不足が起き、多くの餓死者を出している国さえある。我が国でも食糧自給率が近年急速に低下していて、日本でも食糧危機が懸念されるようになってきている。

この時にあたり、植生のため最高の条件を作りだし、食糧資源を増産し、生産物の質的改善を計ることは、極めて重要である。

そのためには植物の生命現象の十分な研究を進めることが最も重要である。

植物の生長はその環境条件、すなわち気候、水分、光、無機養分に影響されるが、その中で植物に対する熱と水の関係はかなり古くから調査され解明されてきた。また群落内の光分布や光合成の関係も理論的にも実験的にも討論されるようになったきた。

現在、植物群落の生長や競争といった生態学的問題、及び作物の収穫形成過程の解析とその改良といった農学的問題解明の有力な手がかりとして、光合成の研究が盛んに行なわれている。この問題はまず植物の単葉の問題から植物群落という複合システムの問題へと展開されている。

一方、気象環境が自然から与えられたものとして、これまでただそれに順応して農作物が栽培されてきたのに対して、最近ではその不良環境と気象災害の積極的な克服への気運が高まりつつある。そこで気象災害の防止について、植物環境の改造的な見地から2・3の問題点について概説した。

2. 植物と温度

植物の分布には気候が影響しているらしいということ

は、古くから考えられていた。しかし当時は組織的な気象観測が行なわれていなかったため、植物の生長と気候を量的に結びつけることはできなかったが、そこに代表的に生えている植物をもって、気候を表現するようになった。この考え方は Köppen など多くの気候学者が気候の分類に使っているが、それは自然植生の分布との関連性において、有為な気候限界値を使用して分類している。例えばサバナ気候、森林気候、ステップ気候、砂漠気候などに分けられている。

しかしその後、気象測器が開発され、気象資料が蓄積され始めると、多くの研究者によって、植物の生長と気象とを結びつけようとする努力が繰り返して行なわれるようになり、ようやく植物の生長や農業上の諸問題と気象との間に、おぼろげな量的な関係が認められるようになった。

2.1. 積算温度

17世紀の始め、列氏の温度計の考案者として有名な仏人の科学者 Reúmula は、植物が一定の生育段階に達するに要する熱量を積算した。つまりいろいろの植物について、発芽から成熟に至る間毎日、彼の考案した温度計を使って、植物の日陰の平均気温を測定して、その値を加えあわせた。ところが彼はこのような温度の毎日の総計は、その植物が一定の生育を遂げるに要する期間に対しては年には無関係で、大体一定であるべきだというように信じていた。彼のこの研究は農作物の積算温度として多くの人々の研究意欲を刺激して、さらに発展的な研究が行なわれ、植物の発芽、結実、収穫などと気候との関係を結びつけるようになった。たとえば水稻の播種から成熟に要する積算温度は3500~4500°C、早生種では2400~3000°Cといわれ、大麦では1700°C、小麦1900°Cなどとなっている。しかし積算温度を求める場合に、たとえば春小麦では3°C、コーンでは13°C以下の温度は生長に影響しないものとして、それ以下の温度は積算から除外して考えるべきである(有効積算温度)といっ

* Plant Growth and Meteorology

** E. Maruyama 東京管区気象台

た研究も行なわれた。しかしこの積算温度もその後検討してみると必ずしも一定でないことが明らかになった。つまり高緯度では低緯度におけるより、積算温度は少くてもよいこと、つまり同一植物でも寒い気候の所の方が、暖かい気候の所より、同じ生育段階に達するに要する熱量は少くてもよい、ということがわかってきたし、播種期のちがいや場所のちがいによって、必ずしもそれは一定でないことが明らかにされたため、この積算温度の概念は魅力が失われ、それに作物の生育には温度以外のいろいろな要素も関係することからも、現段階では作物栽培に必要な熱量のおよその目安としか使われていない。

2.2. 春化現象

植物の発育に及ぼす温度の影響はきわめて複雑である。たとえば植物が正常に生長するために、低温期間を必要とする植物もあり、もしこの期間がないと、その植物は開花しないばかりでなく、植物の他の機能も乱れる。

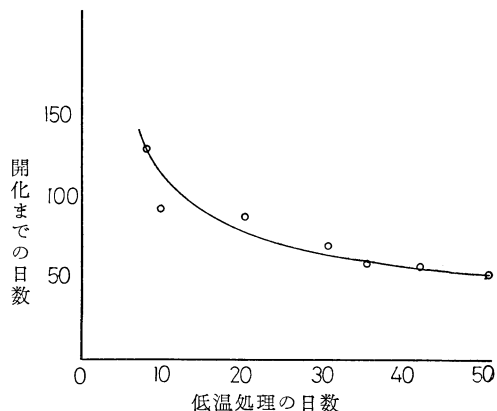
Lysenko は秋まきの麦類の種子は低温処理（ $-2 \sim -15^{\circ}\text{C}$ ）をすれば、春まきしても普通に出穂登熟することを見出し、春化現象（Yarvovization または Vernalization）と名付けた。このことは現在よく知られている現象で、静岡県石垣いちごは冬季箱根山の冷涼地に移して春化させているし、長野県の作久高原は昔からフリージャの産地で、12月末には東京市場に出荷されている。これは温室栽培であるが、早咲きさせるため、二期三朝 0°C 近くの低温に遭せた上で、1か月以上も温室へ入れて置かなくては開花しない。またこの地方の桜の枝も東京や大阪方面に出荷している。もちろん、桜は日本のいたるところにある。しかし元旦の床の間を飾るあの花も、2~3回霜に遭わないと、せっかく温室に入れても開花しない。

バーナリゼーションというのは、作物の発育するのに低温処理を必要とする場合に使われるが、比較的高温処理を必要とする作物もあることがわかってきた。前者を低温バーナリゼーションと呼び、後者を高温バーナリゼーションと呼んで区別している。

2.3. 温度変化と植物

すべての植物はそれらの生存可能な温度範囲は決っていて、その範囲を超えて温度が変化すると、生育が不可能となり、死滅することになる。温度が低下すると、やがて、細胞内に氷の結晶が形成するため、植物は被害を受ける。

この結晶は凍結するとき、細胞内の水を奪水して細胞



第1図 低温処理期間と開花

(植えてから開花までの日数、低温処理の期間が長いほど短い)

壁を破壊する。また植物の耐えうる最低温度は、植物によって大幅に変化するが、植物は急激な温度低下より、ゆるやかな低下に耐えるし、早期に植物を寒さにあわせると、寒さに対する耐性ができる。

一方、温度が一定以上に上昇すると、葉緑素の崩壊、葉の火傷を起こし、更に昇温すると死滅するが、葉の組織中の蛋白質の分解は過熱によるものが大部分である。砂漠に生えている植物は厚い葉をもっていて、貯水性があるため高温や乾燥に耐えるものが多い。

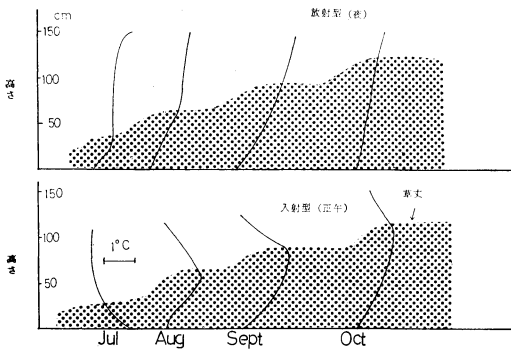
一般に植物の凍霜害や干害の発生する限界温度は植物の生育の段階、季節や立地条件と耐性が関係してくる。

3. 微気象

Köppen は作物の生育に関する論文の中で“植物はいろいろの気象要素の積分可能な優れた気象測器であるが、ある作物について、その成長量を気象要素を含んだ式で簡単に表現することは不可能であろうと”述べている。

たしかに、農学者や農業家が気象を農業上に利用しようとしても、簡単にそれらの関係が見出されぬことが多い。それは測候所の気象と耕地の気象とでは、極端に違っているからである。

つまり測候所の百葉箱から得られる資料は抽象的で、広大な地域のすべてを代表するものではない。すなわち広大な地域には斜面あり、丘陵、小麦畑、森林などがあって、それぞれ特徴をもった気候を示している。たとえば、一つの畑の東西にのびる畦についてみても、北側の気候はそこから北へ数百キロ離れた、ほとんど北極に近い気候と多くの点で似ているが、南側ではすべての点で



第2図 植被層における気温の垂直分布 (Geiger)

熱帯付近の気候と類似している。

3.1. 気温分布

裸地の温度分布は次のような対数法則で表わされる。

$$T(Z) = T(Z_0) - \frac{1}{Ku_*} - \frac{P}{C_p \rho} \left(\ln \frac{Z-d}{Z_0} + \beta \frac{Z-d}{L} \right) \quad (3.1)$$

ただし $T(Z)$, $T(Z_0)$ は高さ Z , Z_0 での温度, P : 乱流フラックス, u_* は摩擦速度, $\kappa=0.4$, カルマン常数, $L = -\frac{u_*^3}{\kappa(g/T_0)(P/C_p \rho)}$ 力学的気層厚, β は安定度によって変化する常数。

しかし, 植被層内では乱流フラックスが高さとともに著しく変化するので, その温度分布は非常に複雑になってくる。

植被層に吸収された純放射は, 葉の温度を高めるが, 乱流および蒸散の放熱により熱を失うので, これらのバランスによりある温度を維持する。この温度は葉温と呼ばれ, 植被内の温度形成に大きな役割りを果たしている。

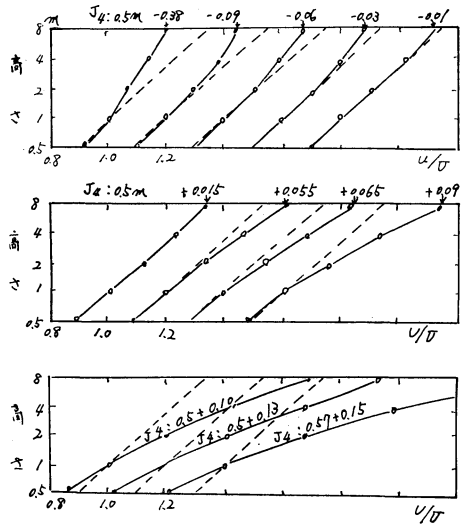
露場の芝生内で, 冬の日中の気温は, 百葉箱の気温が 5°C ぐらいの時でも, 20°C 以上になることが多く, 日射が強く風が弱いと芝の葉温はその周りの気温より 5°C 以上も高くなる。これは日射が強く, 静穏な日に植被層内で感じられる“草いきれ”の原因となる。

一方, 早朝は放射冷却により, 特に芝は熱容量が小さいため, 地表面より葉の方が低温になることが多い。

3.2. 風速分布

裸地の風速は高さとともに対数的に増大している。気層の安定度が中立状態で, 風が定常的に吹いている場合は, 数十m以下の高度までの風速分布は paescke の式

$$U = \frac{U_*}{K} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (3.2)$$



第3図 安定度による風速の垂直分布の変化

ここで $Z=Z_0$, $U=0$ で Z_0 は粗度の長さ (Roughness parameter) と呼ばれている。

Deacon は平坦な草地 ($Z_0=0.27$) 上, 8 m, 4 m, 2 m, 1 m, 0.5 m の高さにおける風速を測定して, 風速比 u/U (U : 1 m における風速) を高度の対数比にして図示し, 第3図のごとき結果を得ているが, この図で $J_4:05$ は高さ 4 m から 5 m に至る気層の平均 Richardson 数を意味し, 各図において実線で表わされているのは断熱大気についての風速の垂直分布である。 u/U の目盛は一番左の図の分布のものしか示されていないが, あとのものはこの目盛を右へ 0.2 づつづらさねばならない。

この図から, 風速分布は安定度とともに系統的に曲がっている。

ところで Deacon はこの実験結果が

$$\frac{du}{dz} = \alpha Z^{-\beta} \quad (3.3)$$

$Z=Z_0$ と $u=0$ として (3.3) 式を積分する。

$$u = \frac{\alpha Z_0^{1-\beta}}{1-\beta} \left\{ \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{1-\beta} - 1 \right\} \quad (3.4)$$

これが Deacon の出した風速の垂直分布を表わす式である。

$\beta < 1$ の場合安定大気, $\beta > 1$ で不安定大気 $\beta = 1$ で断熱大気。

$\beta = 1$ で (3.2) 式に一致するという条件から,

$$\alpha = \frac{u_*}{kZ_0^{1-\beta}}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad k = \frac{l}{z}$$

l : 混合距離

また畑や水田のように作物が密集している耕地では、

$$u = 5,75u_* \log \frac{Z-d}{Z_0} \quad (3.5)$$

で表わされ、 d は地面修正量 (Zero-plane displacement) と呼ばれる Z_0 も d も作物の大きさ、形、栽植密度や風速によって変化する。

安定度の効果が入ると風速分布はやはり対数法則からはずれるが、その効果が、あまり大きくない場合、

$$u = \frac{U_*}{K} \left(\ln \frac{Z}{Z_0} + \alpha \frac{Z}{L} \right) \quad (3.6)$$

となる。 α は経験的な常数で6程度の値をとる。中立の場合 $\alpha \left(\frac{Z}{L} \right)$ は0となり (3.2) 式になる。

以上のように植被の内外や、地上10数mまでの気候を微気候と呼び、測候所の気候とは特異な気候を呈している。

したがって植物の生長と気象との関連性を見出そうとする場合、植生の重要な環境要素、すなわち、微気候や小気候を考慮することなしに植物の生長量 y と気象要素 x_1, \dots との関係を統計的に $y=f(x_1, \dots)$ なる形で結びつけることは厳密に言えば無理といえよう。

4. 植物と水

雨の多寡のみから気候の乾湿を知ることはできない。それは如何に降水量が多くても、土壤や植生からの蒸発散 (蒸発+蒸散で Evapotranspiration と呼ぶ) ET が、それを上まわれれば、気候は乾燥していることになるからである。

植物についてみても、正常な発育をするためには、必ずしも強い光は必要としない場合もあるが、水だけは光の量に応じた一定量が必要となる。したがって農業上作物の必要とする水の供給源である雨が、過不足なく降ることが理想的であるが、実際にはそれは珍らしく、水の過不足がしばしば農業上で問題になる。

作物の要求する水量に対して、降水量が不足すれば、生育不良となり枯死する。もっともどんなに雨が降っても、蒸発散が上まわれれば、その土地は砂漠状態となり、植物の成育は望めない。

したがって蒸発散量は、植物の生育に対してても、気候区分上からも、極めて重要な要素と言える。

4.1. 植物と蒸散係数

植物は大変不経済に水を浪費している。作物栽培上、

第1表 いろいろな作物の蒸散係数

作物名	蒸散係数	作物名	蒸散係数
アヲ	310 gr.	サトウ大根	397 gr.
コーン	368	パレーショ	636
小麦	513	エンドウ	783
水稲	710	キウリ	791

(この値は地面蒸発は含まない)

水の必要量を表わす方法は幾つかあるが、乾物 1 gr. を生産するに要する水分量 (gr.) を蒸散係数と呼び、一般には200~1000gr. の範囲である (第1表)

4.2. 蒸発散位

気候の乾湿に関するその後の多くの研究は、降水量に対する可能蒸発散の量を見積ることに向けられている。Thorntwaite は土壤中に十分水分がある場合、それが植物で完全に覆われているとき、地表面からの蒸発および植物から蒸散する量を蒸発散位 (Potential Evapotranspiration) P.E.T. と定義している。

これはある土地を農耕地として開拓しようとする場合、そこに必要な灌漑水量を知る必要があるが、それは蒸発散位から雨量を差引いたものに近いことから、この蒸発散位の推定が重要視されている。

Thorntwaite はある土地の蒸発散位 P.E.T. (Cm) を計算するのに、月平均気温 $T^\circ(C)$ を提出している。

$$P.E.T = CT^a \quad (4.1)$$

C, a は T によって変化する係数、
経験的に

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0.49239 \quad (4.2)$$

$$\text{ただし } I = \sum_{1}^{12} i \quad (4.3)$$

$$i = \left(\frac{I}{5} \right)^{1,514} \quad (4.4)$$

の関係があるから結局

$$P.E.T = 1.6 (10T/I)^a \quad (4.5)$$

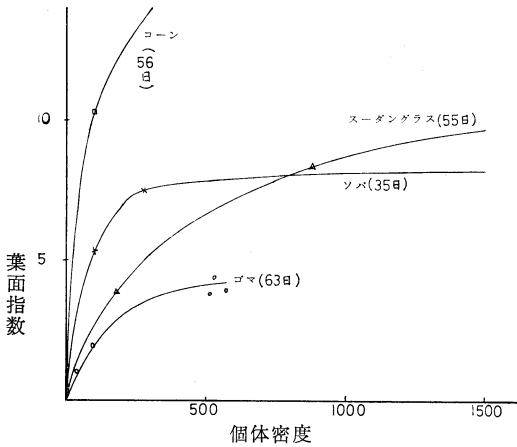
この式より、P.E.T の値が計算できる。

Mather は十分栄養生長を遂げた状態の植被をつくった土壤では、土壤水分の圃場要水量 (土壤を飽和状態にしてから、重力水が失われるまで放置した後の土壤の水分状態) に保った場合の蒸発散位を測定したところ、それは土の性質にも植被にも無関係であるという結果を得ている。

第2表は (4.5) 式から計算したものと実測値とくら

第2表 各種作物の蒸発散位 (Mather 1954)

植物の種類	期 間	A (実測値)	B (計算値)	A/B
ホーレンソウ	47/8.25~10.27	204mm	183mm	1.11
コ ー ン	48/7.11~ 8.23	335	324	1.06
ホーレンソウ	48/4.11~ 9.19	146	126	1.16
エ ン ド ウ	49/4.21~ 6. 7	178	151	1.18
ライマメ	49/7.20~ 9.25	296	278	1.07



第4図 葉面指数と個体密度

べたものであるが、その一致はまだ完全とは言えないが、一年の総量を測定してみると大体満足できる傾向がみられている。

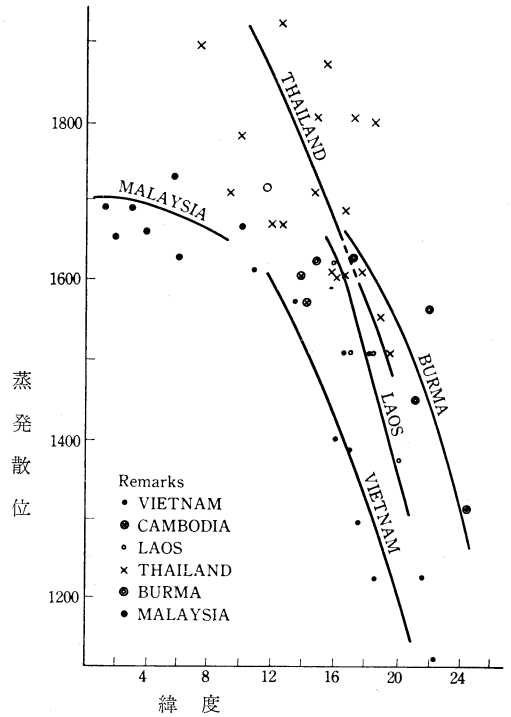
P.E.T. は気温によって決まる一種の気候常数であって、生態系が実際に使っている水の量とちがったもので、これについては蒸発散量として次節において述べよう。P.E.T. の概念で、もっとも問題になることは、はたしてその値が植物の種類によって影響されないかどうかの問題である。おなじ種類からなる植生の場合、ほかの条件が一定なら、十分生長をとげたあとは個体密度に無関係に葉面積指数(単位土地面積あたりの葉の量)は一定になる傾向があるから、消費水量はほとんど変わらないであろう。

また(4.5)式は、熱帯や亜熱帯地方に適用されたものであるため、北海道のような寒冷地の適用にはあまりにも小さくなりすぎて使用できない。

第5図は(4.5)式を使って、インドシナ半島6カ国52の観測所の資料で計算した蒸発散位と緯度の関係を示した。低緯度ほど蒸発散位は多くなっている。

4.3. 水収支と稲作

Thornthwaite は P.E.T. と降水量をくみ合せて、直 1975年11月



第5図 蒸発散位と緯度の関係

接土壌水分の収支を計算した。

第3表はバンコクの資料から蒸発散位を求め、蒸発散位が降水量を上まわれば、その不足分は土壤中の蓄積水量からまかなうことになると考え、土壤中の最大蓄積水量は根群分布範囲約50cmまで100mmと仮定して計算を実施したが、もし土壤中の蓄積水分と雨量を加えたものが蒸発散位を上まわれば、その分は余剰水分となり土の表面を流亡する。もし不足すれば、その不足量を蒸発散位より差引いたものが蒸散量になり、下まわれば、蒸発散位がそのまま蒸発散量になる。

第4表は第3表と同様にタイ国の13地点の資料をまとめたものである。それは第3表に示されているように、12月より6月までは土壌蓄積水分量は0になっている。この期間は乾燥季で、耕地の土壌は深土まで硬く乾燥し、鋭い鋤を作っても耕うんすることが不可能である。乾燥季が終り雨季の始めの雨が土壌に降りそそぐと、漸く水田の耕地の準備が始まる。その場合土壌蓄積水量が50mmに達した時に水稻の播種期と仮定した。また水稻生育期間も水収支表より推定した。

第6図および第7図はインドシナ半島全土における水収支よりみた水稻の播種期および水稻の生育期間を示

第3表 バンコクの水収支表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P.E.T.	119	141	157	171	176	177	165	163	150	146	129	109
雨量	12	26	31	76	144	162	194	217	335	259	147	2
差	-109	-115	-126	-95	-32	-15	29	54	185	113	-82	-107
土壌蓄積水分	0	0	0	0	0	0	29	83	100	100	18	0
不速水分	107	115	126	95	32	15	0	0	0	0	0	0
余剰水分	0	0	0	0	0	0	0	0	168	113	0	0
E. T.	12	26	31	76	144	162	165	163	150	146	129	20

第4表 タイ国の水収支

地名	緯度	経度	蒸散 発位 mm	降水量 mm	余剰水 mm	不足水 mm	蒸発散 mm	土壌期 乾燥	水培 稲期 栽	
THAILAND	Nakhon Rachashima	14 58°	102 07°	1,713	1,154	13	571	1,141	Dec. ~ Aug.	Sep. ~ Nov.
	Sakhon Nakhon	17 10	104 09	1,609	1,495	356	470	1,139	Nov. ~ Apr.	May ~ Oct.
	Udon	17 26	102 46	1,696	1,419	200	348	1,120	Nov. ~ Apr.	May ~ Oct.
	Looi	16 03	103 41	1,564	1,197	30	014	1,164	Dec. ~ Apr.	May ~ Nov.
	Khon Khan	16 20	102 51	1,696	1,210	59	545	1,151	Nov. ~ Apr.	May ~ Oct.
	Roiet	16 03	103 41	1,601	1,414	351	445	1,093	Nov. ~ Apr.	May ~ Oct.
	Chantaburi	12 37	102 07	1,673	3,210	1,913	376	1,297	Dec. ~ Apr.	May ~ Nov.
	Stta hip	12 39	100 53	1,934	1,312	96	728	1,216	Dec. ~ Aug.	Sept. ~ Nov.
	Huahin	12 34	99 48	1,666	1,019	23	670	996	Dec. ~ Sept.	Oct. ~ Nov.
	Prachap-Khirikhan	11 48	99 48	1,719	1,118	90	638	1,028	Feb. ~ Sept.	Oct. ~ Jan.
	Chumpon	10 27	99 15	1,780	1,964	381	141	1,583	Mar. ~ Jun.	Jul. ~ Jan.
Bandon	9 08	99 18	1,703	1,857	392	428	1,455	Feb. ~ Jan.	Feb. ~ Jan.	
Songakhla	7 13	100 50	1,895	2,049	684	530	1,365	Feb. ~ Sept.	Oct. ~ Jan.	

す。

なお第8図は同地域において現行なわれている Rice Calendar であるが、一般に農作業はその地域における長年の習慣によって古くから実施されているものが多いにもかかわらず、それと第6, 7図は大変よく合致していることがわかる。

4.4. 蒸発散の種々な測定法

蒸発散を測定するその他の方法として、Budyko (1959) の提唱した方法は

$$E_+ = \rho D_a (q_0 - q_a) \tag{4.6}$$

D_a : 積分拡散係数, q_0, q_a : 地面および空気中の比湿,

$$D_a(\text{cm/sec}) = 0.27 u_1 (1 - 0.13 \Delta T / u_1^2) \tag{4.7}$$

ΔT : 地面と百葉箱の温度差, u_1 : 高さ1mの風速, また地表面の熱収支を考へて, 蒸発散を求める方法としては

$$R_n = L_a \cdot ET + P + B \tag{4.8}$$

ここで R_n : 純放射量, P : 乱流フラックス, B : 土壌中の熱フラックス, L_a : 蒸発の潜熱

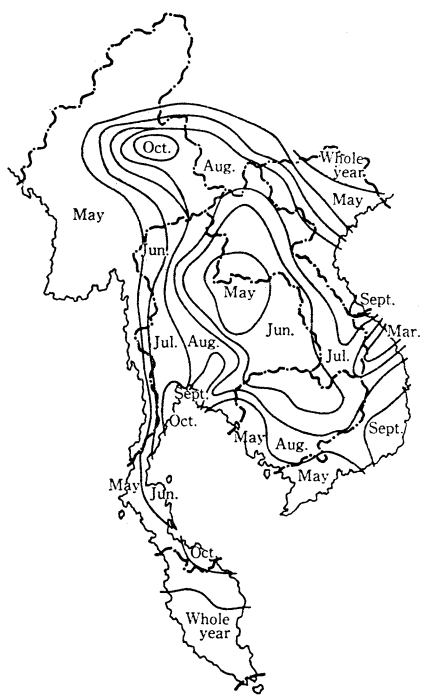
$$P = C_p \cdot \rho D_a \Delta T \tag{4.9}$$

(4.8), (4.9) 式より

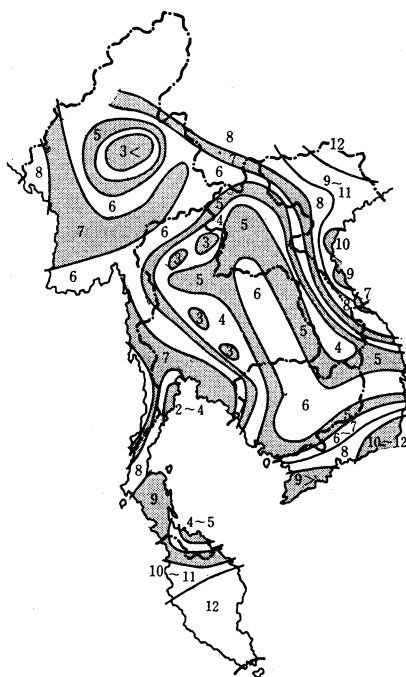
$$ET = \frac{R_n - B}{(1 + 0.64 \frac{\Delta T}{\Delta e})} \tag{4.10}$$

ΔT : 地温と気温の差 Δe : 地表と空気中の水張差
また Schreiber (1904) の提供した式は

* 天気 = 22.11



第6図 印度シナ半島における水収支からみた水稻の播種期



第7図 印度シナ半島における水収支からみた水稻の生育期

第5表 種々な方法による蒸発散の比較 (1961—1965)

月	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
(4・10) 式	10	5	28	50	65	73	83	70	48	15	12	-33	459 -33
(4・11) 式	10	10	24	43	50	49	55	56	70	41	37	19	464
(4・13) 式	-27	-8	25	46	48	56	71	65	48	11	-22	-37	370 -94
水面蒸発計	-	-	-	96	101	107	107	104	74	54	-	-	(643)

負値：凝結

$$ET = P_r \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{PET}{P_r}\right) \right\} \quad (4.11)$$

P_r : 降水量

Budyko (1959) は湿潤な地面では純放射のほとんどすべてが水分の蒸発に消費されるとして

$$P.E.T = R_n / L_a \quad (4.12)$$

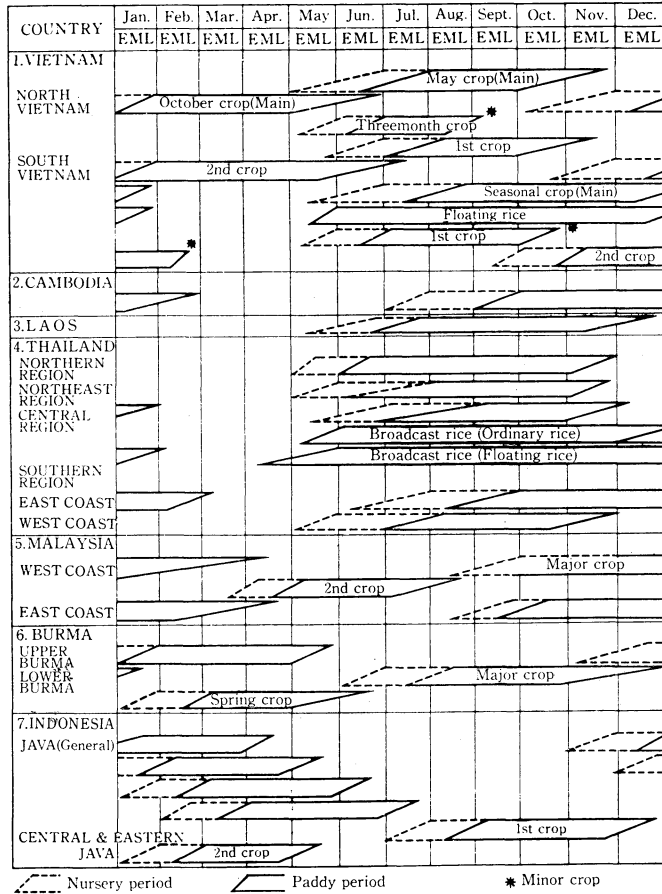
(4.12), (4.13) 式を使って,

$$ET = P_r (1 - R_n / L_a P_r) \quad (4.13)$$

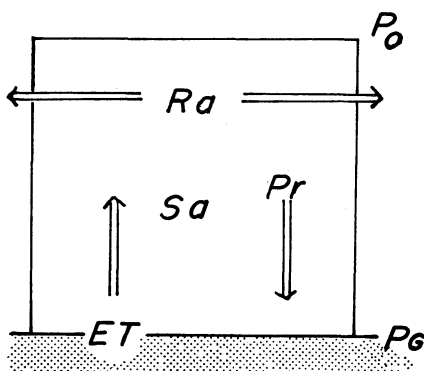
(4.10), (4.11) および (4.13) 式を使って札幌の蒸発散量を求めて比較した結果を第5表に示した。

この表で (4.10) 式と (4.11) 式は比較的よく似ているが, (4.13) 式の場合は, 寒候期はすべて負値がでている。

蒸発散を求めるのに気象関係者は気象資料から推定する熱収支法や水収支法を使いたがる傾向があるが, 農学関係者は Blaney-Cleddle など作物の種類による係数を使用する式や減水深などを測定する方法を使用する傾向がある。しかしどちらが正しいかは, 基準になる絶対測定値がないから何れとも言えぬが, いづれにしても点と面の問題が残されている。つまり, 数地点の測定値の



第8図 東南アジアの米作暦



第9図 大気圏の水収支

みて広大な地域の蒸発散とすることの代表性の問題である。

これに対して Benton (1954), Palmén (1967) は大

気圏の水収支として、広大な地域全体からの蒸発散を見積る新しい方法を展開している。その概念は第9図に示すように簡単である。

大気圏の水収支として

$$ET - P_r = R_a + S_a \tag{4.14}$$

ここで R_a : 気柱の中の水蒸気フラックスを垂直方向に積分した水平発散, S_a : 与えられ期間の始めと終りの水分含量の差,

ρ_j 単位容積の空気中に含まれる水分の凝結率 p_j は、比湿 q の減少の割合として表わされる。

$$p_j = - \frac{dq}{dt} \tag{4.15}$$

連続の式から

$$\nabla \cdot \mathbf{v} + \frac{\partial \omega}{\partial P} = 0 \tag{4.16}$$

ここで、 \mathbf{v} : 水平方向の風ベクトル, ω : 圧力場の風

6表 大気圏の水収支 (1961-1965)

Month	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
$\overline{P_r}$	80	80	60	67	75	92	121	168	168	87	103	88	1185
$\overline{R_a}$	29	22	14	-15	-34	-68	-101	-123	-12	2	10	26	103 -353
$\overline{S_a}$	-1	0	2	5	5	9	10	3	-13	-11	-5	-3	34 -33
\overline{ET}	108	102	76	57	46	33	30	48	142	75	108	111	936
$\overline{ET^*}$	10	10	12	31	65	42	47	42	34	25	14	10	340

- : 面積平均
 ET^* : 4.11式より求めたもの

の垂直成分 (= dp/dt)

(4.15) 式は

$$P_i = \partial q / \partial t + -\nabla q \mathbf{v} - \omega \partial q / \partial p \quad (4.17)$$

(4.17) 式を $P=R_0$ から $P=0$ まで積分すると最後の項は積分で消える。

$$ET - P_r = \frac{1}{g} \int_0^{P_0} \partial q / \partial t + + \frac{1}{g} \int_0^{P_0} \nabla q \Delta dp \quad (4.18)$$

右辺の第1項は S_a に等しい

$$S_a = \frac{1}{g} \int_0^{P_0} (\partial q / \partial t) dp = \partial W / \partial t \quad (4.19)$$

ここで W は単位面積に対する水分含量 (可降水量), 第2項は R_a で水蒸気の水平発散

$$R_a = \frac{1}{g} \int_0^{P_0} \nabla q \Delta dp = \nabla \overline{Q} \quad (4.20)$$

\overline{Q} : 水蒸気フラックス2の垂直積分

$$Et_i - P_r = \partial \omega / \partial t + \nabla \overline{Q} \quad (4.21)$$

右側の第1項は可降水量の変化で, R_a に比較すれば非常に小さく, 長期間の変化をとれば無視できる。

$$\overline{ET} - \overline{P_r} = \overline{\nabla \overline{Q}} \quad (4.22)$$

$$= \frac{l}{Ag} \int_0^{P_0} \int_1 \frac{g}{f} \frac{dz}{dl} dl \cdot dp$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{1}{A} \int_0^{P_0} \frac{(\overline{Z}_i - \overline{Z}_{i+1}) (q_i + q_{i+1})}{f_i + f_{i+1}} dp$$

ここで, A : 対称地域の面積, l : 対象地域の囲りの長さ, f : コレオリ・パラメーター, Z : 等圧面高度, [] 面積平均, i : i 番目を示す。

北海道において, 札幌, 根室, 稚内の3高層観測所を

1975年11月

頂点とする三角形の面積を考え, この地域を対象として, 大気圏の水収支法によって蒸発散を求めた結果を第6表に示した。

第6表にみられるように, この方法から求めた寒候季の蒸発散が大きくなっているが, 寒候季は雪のような固相が低気圧に附随して流入することが原因しているようだ。

5. 植物と光

植物は無料の太陽エネルギーを吸収して, CO_2 , 水分子ならびに無機物質から光合成過程の力を利用して, 地球上の動物群に対して, 蛋白質, 炭水化物, 糖類などを提供するばかりでなく, 木材などの建築資材も生産してくれる。

しかしこれらの植物は毎年大体一定の時期がくると開花し結実するが, これらは単に温度のみならず, 光の長短などが関係している。

それにはまず日長効果について述べなければならぬ。

5.1. 日長効果

植物の開花は毎日の昼夜の長短が関係するが, この事実を最初に発見したのは, アメリカのタバコ試験場の技師 Garner (1920) および Allard である。これは当時としては画期的な発見で, 光週律または日長効果 (Photoperiodism) と呼んだ。

それはある種類の植物は毎日の日照時間が短くなる短日条件のもとで, またある植物は長日条件で開花することを明らかにした。これにより, 植物は短日植物, 長日植物および日照時間の長短に影響されない中性植物に分けられる。

5.11 短日植物, これは熱帯ならびに亜熱帯の植物が多く, ダイズ, キク・コスモス, 水稻などで, 日照時間は12時間以内である。

5.12 長日植物, 中～高緯度が原産地, 日長は薄明時間を含めて18～24時間に達する。大麦, 小麦, タバコ, バレイショ, 大根などがある。

5.13 中性植物, トマト, ナス, インゲン, 四季咲きの花。

日長効果は農業上いろいろ重要な応用面を拓いた。それは品種の鑑別, 出穂の促進と抑制により, 開花期の異なる品種を同時期に開花させ, 交配を可能にした。キク, ポインセチアなどを短日処理により, 開花を促進させたり, 電照により遅らせたりすることは有名である。

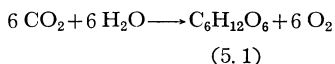
また短日植物および長日植物も, 日長のみならず温度の影響を受ける。たとえばダイズは短日で気温が高めのとき, テンサイは長日で低温のとき開花が促進される。短日植物は夜温が強く影響し, キクは 16°C 以下, ポインセチアは 13°C 以下になると開花しなくなる。

イネの生長は更に複雑である。イネの幼穂の分化は短日により促進されて長日によって遅延するものもある。前者を感光性, 後者を感温性と呼ぶが, このようないろいろの特性を組み合わせた品種が作られていて, たとえば北海道や東北地方のようなどころでは感温性が高く感光性の低い品種が栽培され, 南部にゆくにつれて逆になっている。

5.2. 光合成

植物と気象との関係はきわめて複雑で, まだ満足すべき関係は見出されていない。両者の関係の基礎は何よりもまず, 植物生理に及ぼす気象の影響を理解する必要がある。そこで光合成について説明する。

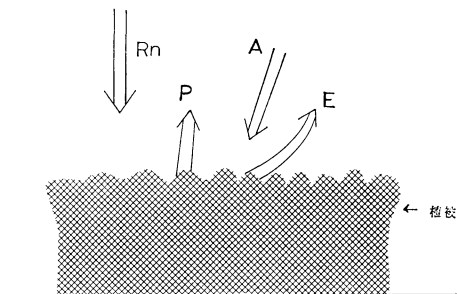
植物は根から吸収した水と, 空気中から得た炭酸ガスを原料とし, それに太陽エネルギーを利用して植物の組織中に炭水化物を合成する。その反応の基本的内容はつぎの方程式で表わすことができる



この作用を光合成 (Photosynthesis) または炭素同化作用と呼ぶ。

この光合成に使われる太陽エネルギーは非常に小さく, 全太陽放射量 $0.1\sim 1.0\%$ の以下が一般的であるが, 好条件では数%まで上昇しうる。

炭酸ガスは水溶液の形においてのみ同化されるので,



第10図 植被層の熱収支

光合成が行なわれる場合は葉や気孔の表面が十分湿っていることが絶対必要となる。このためには細胞間隙内の空気の相対湿度は, 空気中よりもはるかに高い。したがって開いた気孔をもつ葉内での炭酸ガスの拡散は, 蒸散と逆な方向に起こるため, 水蒸気の拡散に抵抗として作用する。

もし植被が十分に密であれば, 植被層の熱収支は

$$R_n = L_a E + P + I A \quad (5.2)$$

A: 同化量, I: CO_2 の単位量の同化に必要な熱放出量。

植物から蒸散が行なわれている場合には, 葉の内部表面の湿った細胞間隙及び気孔を通して, 葉の外表面まで拡散している。葉の内部表面の水蒸気濃度 q_s , 外部表面の水蒸気濃度を q_0 とすれば,

$$ET = \rho D' (q_s - q_0) \quad (5.3)$$

D' は葉の内部表面から外部表面までの拡散径路の水蒸気の拡散係数で, 葉の形態, 気孔の数と大きさ, クチクラの密度に関係している。

第二段階の水蒸気拡散は, 葉の外表面上から, 大気中 (水蒸気濃度 q) までを考えるから, その拡散式は

$$ET = \rho D'' (q_0 - q) \quad (5.4)$$

(5.3), (5.4) 式より q_0 を消去すると,

$$ET = \frac{\rho (q_s - q)}{\frac{1}{D'} + \frac{1}{D''}} \quad (5.5)$$

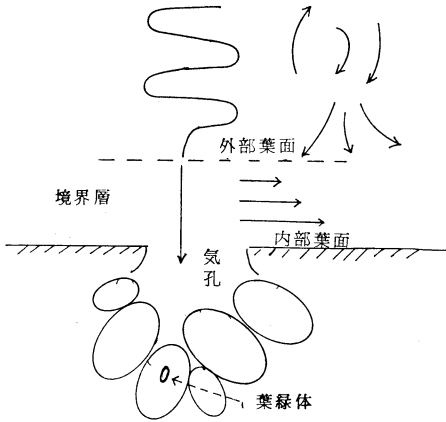
炭酸ガスの拡散は水蒸気の場合と同様に2つに分けて考える。すなわち第1段階は

$$A = \rho D_c' (C_0 - C_1) \quad (5.6)$$

C_0 は葉の外面上の CO_2 濃度, C_1 は葉細胞表面上の CO_2 濃度, D_c' は葉の外面から細胞表面までの細胞間隙と気孔を通しての CO_2 の拡散速度,

第2段階では

$$A = \rho D_c'' (C - C_0) \quad (5.7)$$



第11図 葉の表面の構造

C は植被外の CO_2 ... D_c'' は D'' に類似した量である。

(5.6), (5.7) 式より,

$$A = \frac{\rho(C - C_1)}{\frac{1}{D_c'} + \frac{1}{D_c''}} \quad (5.8)$$

(5.5), (5.8) 式より,

$$\frac{A}{ET} = a \frac{C - C_1}{q_1 - g} \quad (5.9)$$

$$a = \frac{D_c' D_c'' (D' + D'')}{D' D'' (D_c' + D_c'')}$$

a の値は $0.64 \sim 1.0$ ・ 比較的狭い範囲内で変化する。開いた気孔をもつ薄い葉は $a=1$ 近く、通風の悪い厚い葉は 0.64 まで低下する。もしも、平均として、葉の蒸散速度は湿った平面からの蒸散速度の半分になるという実験事実から、 a は約 0.8 になる。

湿面からの蒸発速度 ET_f が

$$ET_f = \rho D'' (q_s - q) \quad (5.10)$$

$$ET_f = 2E, \quad \frac{2}{D''} = \frac{1}{D'} + \frac{1}{D''}$$

$$D' = D''$$

となり

植被面から大気間の乱流交換は

$$P = C_p \rho D'' (T_w - T) \quad (5.11)$$

C_p : 定圧比熱 T_w : 植被面の温度,

(5.2), (5.5), (5.8), (5.11) 式より

$$A = \frac{R_n (C - C_1)}{\frac{L_a}{a} (q_s - q) + l(C - C_1) + b(T_w - T)} \quad (5.12)$$

$$\text{ただし, } b = \frac{C_p}{a} \left(1 + \frac{D''}{D'}\right)$$

同化速度は一般気流と細胞間隙内の空気の CO_2 濃度 $\cdot (C - C_1)$ に関係していて、一般に植被外の濃度は一定であるので、 C_1 の減少、つまり原形質による CO_2 の吸収増加によって増加する。

CO_2 の生理学的吸収が大で、同化速度は主として拡散フラックスで行なわれる場合、 $C_1 \ll C$ となり、(5.12) 式は

$$A = \frac{R_n C}{\frac{L_a}{a} (q_s - q) + l(C - C_1) + b(T_w - T)} \quad (5.13)$$

平均値として $C = 0.46 \times 10^{-3}$ gr./gr. air, L_a : 600 cal/gr., $a = 0.78$, $l = 2500$ cal/gr., $b = 0.62$ cal/gr. $^{\circ}C$ とおくと

$$lA = \frac{1.2R}{770(q_s - q) + 1.2 + 0.62(T_w - T)} \quad (5.14)$$

中緯度地帯夏の条件として葉温と気温の差の日中の平均値を $5^{\circ}C$ とおき、相対湿度の平均値を 50% 、平均気温を $20^{\circ}C$ と仮定すると $q_s = 2.0 \times 10^{-2}$ (葉温 $25^{\circ}C$)、 $q = 0.7 \times 10^{-2}$ なる値が求まる。これらを (5.14) 式に代入すると、

$lA = 0.08R_n$ なる値が求まる。すなわち、中緯度の平均的な気候条件下では光合成に消費されるエネルギーは、純放射量の 8% になっていることがわかる。

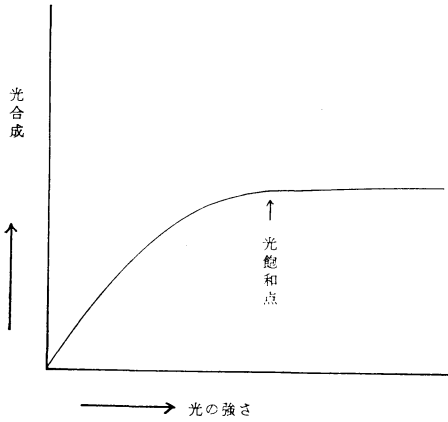
しかしこの値は現在実測から得られているものにくらべてかなり大きく、最も良い条件でも 5% 程度で、平均的にいえば 0.5% が普通である。

5.2.1 光の強さと光合成

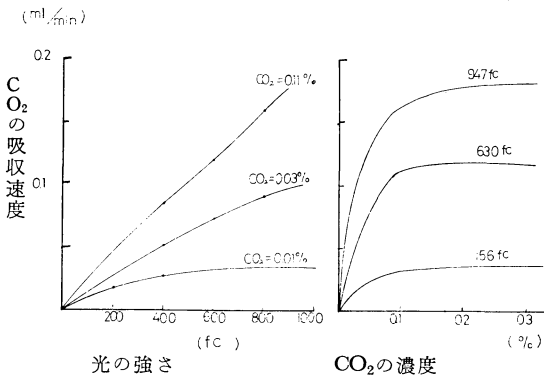
室内実験によれば、光合成は光の強さのみに影響される。つまり光の強さが増すにつれて光合成は増大するが、やがて光合成は最大値に達し、それ以上光をいくら強くしても、光合成は増加しなくなる。この現象を光飽和現象といい、最大の光合成に達したときの光の強さを光飽和点という。

一方、群落の植物全体を光飽和状態にするに必要な光の量は、単葉を光飽和にするよりも強くなければならない。それは植物群の下部や内側にある葉は日蔭になっているからで、一部の葉が光飽和になる程度の光を受けても、日蔭の葉は光飽和に達しないから、植物全体としては光飽和にならない。

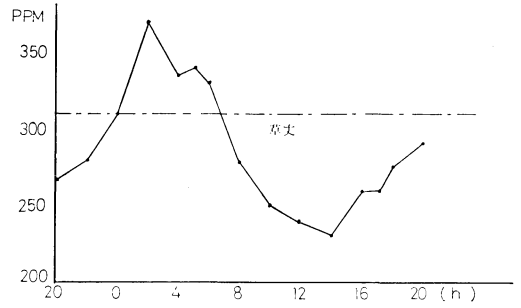
水稲で測定したところ、群落が密でない分けつ期には



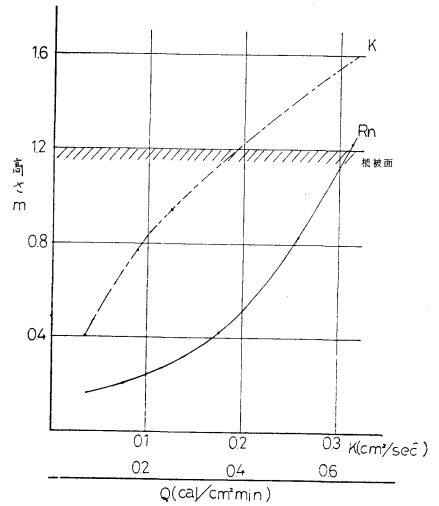
第12図 光合成と光飽和点



第13図 光の強さおよび CO₂ 濃度と光合成



第14図 CO₂ 濃度の日変化 (井上)
(水稻の畑・草丈1 m, 9月上旬)



第15図 小麦畑での日射量 R_n と拡散係数(K)
の分布

弱い光で飽和になるのに対して、出穂期ではもっと強い光の下でも光合成は増加し、光飽和にはならない。

5.2.2 炭酸ガスの濃度と光合成

多くの実験結果から、自然条下で観測される CO₂ の濃度範囲では、その濃度に比例することが確かめられている。

たとえば、第13図にみられるように、CO₂ の濃度が極めて薄い場合は、比較的弱光で光飽和状態になるが、CO₂ の濃度が濃くなるにつれて飽和点は高くなり、光合成量も増大する。

地面近くの大気中の CO₂ 含量は平均 300ppm (0.03%) ぐらいであるが、実際にはかなり変化している。たとえば耕地では夜間植物の呼吸作用により CO₂ が排出されるので、平均値より濃く、逆に日中は光合成により、CO₂ が消費されるので薄くなる。

通風の悪い植被内では CO₂ 濃度は、土壌面に接近す

るにつれて急減し、その割合は拡散係数に關係していて、同化量も乱流拡散が弱くなるほど少なくなる。

乱流拡散の大きい通風のよい植被では、CO₂ 濃度は高さについてほとんど一定である。

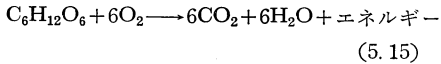
5.2.3 温度と光合成

光が十分強い場合、光合成の量は温度の上昇につれて急激に増大する。濃度が低い温度の影響はうけない。自然条件下では光は十分あるが、CO₂ が不足するため、温度が高くても光合成の増加はみられなく、高すぎるとかえって減退する。光合成には適温があり、水稻では 18~38°C、小麦 15~31°C、コーン 22~40°C といわれている。

5.3. 呼吸作用

植物は日中光合成によって体内に蓄積した炭水化物をゆっくり消費(酸化)させることによってと水分を放出

し、その生命維持のためのエネルギーを得ている。これが呼吸作用で次式で表わされる。



呼吸作用は葉が最も盛んであるが、茎や根、花など植物体のすべての部分で行なわれている。光合成量によって得られる炭水化物と呼吸作用によって消費される炭水化物の差が植物体に蓄積されることになる。

温度が呼吸に最も大きい影響を及ぼし、低温では低い昇温とともに増大し、30~40°Cで最大となる。それを超えると減少する。

呼吸作用は酸素の濃度が低くなると低下するが、地上部分の酸素が不足することはまずない。しかし、土壌水分が多かったり、土壌中に空隙がないと、根の呼吸作用が低下し、生育に悪影響を与える。

以上は群落の物質生産に対して、気象要因がどのような影響を及ぼすかについて、いろいろと考察を進めてきた。

最近ではそれらに対して気象がどのような影響があるか、モデルによる simulation も行なわれている。

しかし大型計算機の問題や、理論の単純化や言語の点に問題が多く残されているようだ。

6. 植生と気候の調節

適地適作、適期適作という言葉が古くから使われている。これは作物を栽培する場合に、まずその地方の気候風土に適した作物を適期に栽培することが、最も量要であるといわれていた。

しかし最近では施設園芸界では、ビニールハウスやガラス室など設備が普及し、あらゆる作物が季節を超越して栽培されており、また人為的に植物の環境を変えて、より良い環境をつくりだし、積極的に作物を栽培している。

また霜害防止対策や早ばつを解消するための灌漑や人工降雨、降ひよう制御などの研究も活発におこなわれている。

6.1 ビニール・ハウスやガラス室

農業上最も古くから行なわれている小規模な気候改良は、ガラスや油紙で土壌を被覆する温室である。最近ではビニールハウスや大型人工気象室の普及が目ざましい。これによって、気温、湿度を自由にまた自動的に調節できるものである。

これらの人工気象室の目的は植物の最適な環境をつくりだすことが目的で、暖房ばかりでなく、冷房も必要と

なる。

特に関東や関西地方ではこれらの施設は大型化しており、夏季換気のために開放しても、日中40°C以上になるため、7月中旬から9月中旬にかけて2か月余りは、ほとんどの作物の栽培が不可能となり経営上きわめて不利である。そこでハウスやガラス室を冷却する必要があるが、それには入射光を制限するため遮光したり、拡散係数を大きくする換気なども有効な方法である。しかし作物への影響や作業能率の点からみれば、もし経済的に可能ならば、冷房をとり入れることが望ましい。

簡単に経済的な冷房法としては、気化冷却法が行なわれる。これは水が蒸発するときの気化熱を空気からとることにより、空気を冷却しようとするもので、原理的には湿球温度と同じで、湿球温度まで冷却できる。

東京のある年の7月下旬から8月上旬の平均最高は32.2°Cで、その時の湿球温度が25.6°Cであったから、この場合少くとも26°C以下の冷風が期待できるはずである。

実際に行なわれている方法としては、Mist & Fan System と呼ばれるもので、水を霧粒としてノズルから放出、その中を空気を通過させることにより、蒸発させ潜熱を空気より奪い冷却させる方法、Pad & Fan 方式と呼ばれる湿った障害物を圧力をかけて通過させる方法などが行なわれている。

環境要素として温度、水分、日射などについてはいろいろの解析されてきた。炭酸ガスについても、植物の光合成に関して重要であるのでいろいろ調査されている。

最近ガラス室内に炭酸ガス（たとえばドライアイスを送りこみ、そのハウス内で栽培する植物の光合成を促進させ、増収をはかる試みが実験室的に成功している。

ガラス室内では日中光合成が行なわれている時の炭酸ガス濃度は、200ppm（第14図）ぐらいで、特に冬季は保温のため密閉し換気が悪く、外気からの補給が少ないため、日中は100ppm以下になることもある。

したがって炭酸ガスの濃度を高め、正常な生育を行なわせようとする場合と、更に積極的にハウス内の炭酸ガス濃度を大気標準濃度より数倍に高め、同化を増進させる方法、いわば炭酸ガスの施肥というべきものもある。

6.2 ひよう害対策

世界のあらゆる地域で毎年ひよう害により農作物が大被害を受けている。第7表は関東地方に最近発生したひよう害を示す。

第7表 関東地方のひょう害

年・月・日	地 域	被害額 (億円)	年・月・日	地 域	被害額 (億円)
1974. 5. 27	群馬県	12.0	1974. 6. 9	栃木県	2.7
	茨城県	8.6		埼玉県	3.0
	埼玉県	8.0		千葉県	1.9
	千葉県	6.3		群馬県	6.9
	栃木県	1.0		1975. 5. 27	栃木県
	富山県	0.4	千葉県		1.9
6. 2	埼玉県	6.6	6. 9	新潟県	16.1
6. 6	栃木県	1.7		栃木県	8.1
"	群馬県	5.0		群馬県	31.9(戦後最大)
"	三重県	1.0		長野県	5.1

これまで長年に亘ってひょうを防ぐ試みがなされてきている。最近のテストはロケットや大砲の弾を使って、沃化銀や沃化鉛をひょうを起こしそうな雷雲の中に打ち込む。それによってソ連では大地域にわたって大成功を治めたことが報じられている。またそれを実施した地域のうち50~90%の成功率であり、費用も大してかからないとの報告がある。

そのほかに地上1500mぐらいで砲弾をさく裂させる爆発法が行なわれている。これはイタリアの農民で評判が良いが、爆発によって発生する衝撃波により、ひょうにひびが入るとか、ひょうの中に多数の気泡ができていたため、ひょうが柔らかくなり壊れ易いといわれている。これについては日本での詳しい実験資料は少ないが、もっと基礎的な研究をすすめる必要がありそうだ。

6.3 凍霜害の防除

凍霜害を防ぐため耕地を煙幕で被覆することがよく行なわれてきた。それはゴムやタイヤやモミガラなどの発煙物質を燃やして煙幕をつくるのであるが、どうしてそれで温度が上がるだろうか。

まず第1に発煙物質が燃えて煙を出す時に熱が放出される。たとえば10分間に1.8kgの発煙筒を燃やすと、約700Kcalの熱が発生する。しかしそれは局部的で、さほど大きいものではない。

そうだとすると、主要な原因は煙幕による、地面の有効放射を防ぐことである。また煙の中に水蒸気が含まれているが、これは煙に含まれる親水性粒子に、水蒸気が凝結する際に熱を発生することが熱効果の原因となる。

煙霧区と無煙霧区と熱効果 ΔT 、有効放射の減衰によ

る熱効果 ΔT_R 、発煙時に放出される熱効果 ΔT_h 、水蒸気の凝結による熱効果 ΔT_c とすると、煙幕の熱効果は、

$$\Delta T = \Delta T_R + \Delta T_h + \Delta T_c \tag{6.1}$$

発煙筒からの熱は接地気層内で拡散するという仮定から、気温上昇度 ΔT_h は、煙の濃度 (単位容積内の煙の質量) と熱量の比が煙粒子全体の重さと熱源から出た熱量の比に等しくなると考えて、

$$\frac{C_p \rho \Delta T_h}{q} = \frac{Q}{D} \tag{6.2}$$

$$\Delta T_h = \frac{qQ}{C_p \rho D} \tag{6.3}$$

$C_p = 0.24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ $\rho = 1.3 \text{ kg/m}^3$ 、 q : いろいろな方法で計算または測定できる煙の重量濃度、 Q : 単位時間に熱源から発生する熱量で単位時間に消費する量と発煙物質の単位時間あたりの発熱量の積で求められる。たとえば、1mの長さの発煙筒で1時に20kgの発煙材がもやされるとすると、この発煙からある距離で $q = 0.15^g / \text{m}^3$ がえられたとする発煙材の内容容から煙成分は材重の50%で、その発熱量は500Kcal/kg. とすると

$$D = 20 \text{ kg} \times 0.5 = 10 \text{ kg/hr}$$

$$Q = 20 \text{ kg} \times 500 \text{ kcal/kg} = 10,000 \text{ kcal/hr}$$

これらの値を (6.3) 式に代入すると

$$\Delta T_h = 0.5^\circ\text{C} \text{ となる。}$$

煙内の親水性粒子上に形成される溶液の水蒸気圧の方が周辺空気の水蒸気圧より低いと凝結が起さる。したがってある場合には ΔT_c は0になることもある。しかし ΔT_R は煙がはれば必ず有効放射は減衰するので0にはならない。

また霜害防除法の一つとして、煙幕で太陽光をおお

い、凍結した植物をゆっくり融解させてやる方法がある。それは植物が霜害をうけても、すべての植物の器管が凍結で死滅したわけではないから、緩徐な融解をさせてやれば植物は回復する。しかし融解が明るい太陽光のもとで起これば、その植物はほとんどの場合被害を受ける。

防霜法の一つに氷結法というのがあるが、これは葉温が 0°C 以下にわずかに下ったとき、スプリンクラーなどで撒水してやると、水滴が葉面に付着して凍結する。その際 1 gr. の水が 80 cal の潜熱を放出するため、凍結が進んでも氷の表面は 0°C を保っている。また葉温が 0°C でも細胞液は凍結しない。したがって、朝になって日射があたっても氷が完全に解けるまで散水を続けると植物は完全に回復する。

6.4 その他の諸問題

耕地に灌漑をして乾燥期にも農作物を栽培することは古くから行なわれてきた。

灌漑は単に不足する水分を補うばかりでなく、それによって灌漑地域の気象もいくぶん変化してくる。特に沼沢池やダム建設によって、気候は自然に変化する。それは水面は地面よりも太陽熱を多く吸収し、夏に大量の熱を水中に蓄積し、寒い冬に放出するため、大気中の水蒸気が多くなり、雲も発生し、雨も降りやすくなるという。しかし何といっても人造湖ぐらいでは、大規模な気候改良に影響するとは考えられない。

洪水の調節や灌漑水の確保のため、ダムが作られている。しかし立派なダムが建設されて水田地帯には洪水は起こらなくなったが、灌漑施設が不十分であったため、今まで洪水による自然の灌漑水が得られなくなり、かえって以前より米がとれなくなった話は、東南アジアでよく見受けられる。

原子エネルギーを使って台風制御をしようという提案が一時新聞紙上を賑わしたことがあった。ところがその際放出される放射能の害の問題やいろいろの難点から、程なく立ち消えとなった。また数年前台風委員会でも、サイクロンのもとらすあまりにも大きな被害から、台風制御が提案された。しかし我が国にとって、もし台風が全然来襲しなくなったら、稲作に必要な水分がえられず、米は作れなくなることは確実である。

農業上の気候調節は農作物の生育に、より適した環境を作ることを目的としている。しかし、なんらかの方法によって大地域の気候が急に換えられたら、そこにある

動植物はどうなるだろうか。それを実施する前に、その植物や動物が、どのような影響を受けるかをあらかじめ調らべておくことが必要である。要するに、それによって、その方法は確かに有効であり、なんらの危険もなく、不測の事態は発生しないことを確かめる必要がある。

7. むすび

植物の生長と気象の関係はなかなか複雑であるが、その関係もかなり詳しく研究され、解明されつつあると言える。

北海道の寒地まで米が栽培されるようになってからすでに久しい。その間、耐冷品種の改良や電熱育苗、灌漑水温の上昇など、いろいろの栽培技術は一段と進歩を遂げた。これは日本人の技術者のみによって、はじめてなし得た努力のたまものである。

現在の米作の北限は北海道の音威音府付近であるが、かりに北海道の平均気温が 1°C 下がると、米作の北限は札幌付近まで南下し、 2°C 下がれば青森付近になるという。このような北海道の米作りの不安定性に政府の減反政策とあいまって、風土に適した牧畜や農業を奨励すべきであるという意見がある。

全国的にみても、豊作続きであった頃は、多少の悪天候や低温は稲作技術が補い、気象は二次的と考えられていた。確かに植物と気象との関係もかなり解明され、農業技術も一段と進歩を遂げたけれども、大型凶冷や異常気象の襲来に対し、それを豊作に変えうる方法や農業技術はまだ見出されていないし、気候環境の征服への途もかなり遠いようだ。

なおこれら植物の環境改良の問題について、さらに積極的な調査研究の努力が必要と思われる。

農業気象関係参考文献

- Budagovsky, A.I. 著, 1965: 耕地の蒸発散, 農林省振興局, 176pp.
 (内島訳)
- Budyko, M.E. 著, 1973:, 気候と生命(上・下)
 (内島, 岩切訳) 東大出版会, 488pp.
- Benton, G.S. and Estoque, M.A. 1954: Water-Vapor Transfer Over the North American Continent. J.Met. 11, 462-477.
- エム・イ・ベリヤンド著, 1966: 凍霜害(その予報と防除の実際)
 (内島訳) 畑地農業研究会, 126pp.
- 大後美保, 1975: 世界と日本の食糧危機の見通し, 産業科学会講演資料
- 吉良竜夫, 1963: 植物生態学(2). 生態系と植物共同体の機能

- 古今書院, 402pp.
- 黒岩澄雄, 1968: 植物群落における光要因と光合成の理論的解析 (3), 散光下光合成と比較しての平行光線下葉群光合成
農業気象, 24, 75-90.
- 三原義秋, 1961: 農業気象 (上) (応用気象学講座), 地人書館, 132pp.
- 三澤勝衛, 1974: 風土産業,
蓼科書房, 383pp.
- 丸山栄三, 1968: 植物と気象,
気象学会, 第2回夏季大学教室. 新しい気象学テキスト
- Maruyama, E., 1967: Rice Cultivation and Water Balance in Thailand.
Geophys. Mag., 33, 337-354.
- & Rasmidatta, V., 1972: Climatological Chart and Rice Weather Calendar of Thailand. Geophys. Mag., 36, 31-51.
- , 1965: Studies on the Evaporation from Soil Surface.
Geophys. Mag. 32, 381-436.
- , 1975: Rice Cultivatiou and Water Balance in South-East Asia.
Tokyo Univ. Press. "Rice in Asia"
- , & Kikuchi, H., 1975: A Study on the Water Resources in Hokkaido.
Geophys Mag., 37, 257-269.
- 丸山栄三, 1972: 気候順応か気候征服か 赤れんが (北海道庁) 23, 4.
- Maruyama, E., 1972: 水収支要素としての蒸発散の測定について.
札幌技術時報 No. 78
- , 1972: 気候の変化とその人工変換. 札幌技術時報, No. 38,
- 真木太一, 1975: 植物群落高度と地面修正量および粗度長との相互関係.
農業気象, 31, 7-15
- 農林振興局, 1961: 農業気象ハンドブック 養賢堂, 600pp.
- 根本茂, 1954: 地面付近における風速分布. 物理気象ノート, 2, 8-4 合併号
- 小元敏男, 1968: 気象および気候の人工変換. 農業気象, 23, 4.
- 及川武久, 1972: 物質生産と気象,
農業気象, 28, 1.
- Palmén, E., 1967: Evaluation of Atmospheric Moisture Transport for Hydrological purposes WMO/IHD Report, No 1. 1032.
- ア・イ・シュルギン著, 1970 太陽光と植物. 東大 (内島訳) 出版会, 163pp.
- Schreiber, P., 1904: Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und Wassergührung der Flüsse in Mitteleuropa. Met. Z., 21, 441-452.
- Thorntwaite, C.W., 1968: An Approach Tward a Rational Classification of Climate.
Geogr. Rev., 38, 55-94.
- 武田京一, 1964: 植物群落内の風について,
農業気象, 20, 1-5.
- 武田京一, 1965: " " "
農業気象, 21, 11-14.
- 高倉直, 1973: 温室の温度環境成立機構に関する研究,
農業気象, 29, 1, 35-39.
- , 1972: 農業気象研究における電子計算機利用,
農業気象, 28, 1, 29-38.
- 武田友四郎, 1969: 単光の光合成速度をめぐる諸問題
農業気象, 25, 1, 2.
- 内島善兵衛, 1967: Growth Chamber 内の微気候 (3), 温室内気温の夜間降下に関する一考察
農業気象, 23, 55-64.
- , 1968: " " (4)
温室暖房デグリーアワーについて,
農業気象, 24, 59-65.
- , 1971: " " (5)
ガラス室の CO₂ 環境と光合成のシュミレーション
農業気象, 27, 45-57.
- 矢吹万寿, 1967: 農業環境調節の現状と問題点.
農業気象, 23, 1.
- , 1972: 温室気象,
農業気象, 28, 2, 127-128.