

# 農業気象災害について

内 嶋 善兵衛

## 1. はしがき

人類が農業を開発してから1～2万年を経過しているといわれている。住居近くにささやかな畑を拓いてきわめて原始的な作物を栽培していた時代から科学技術と多量な化石エネルギーに支援されている現代農業にいたる間に、それこそ枚挙にいとまのないように数多くの発明・発見が、食糧生産を増大させるためになされてきた。そして、画期的な作物が栽培されるようになったり、新技術が導入・普及した時に食糧生産は飛躍的に増大し、これを追って人口の増えたことが過去の歴史から知られている。一方、農業生産をとりまく環境、なかでも天候条件は年により季節によって大幅に変動していて、豊作を祈って栽培した作物が天候不良のために根こそぎに全滅することも頻繁にあった。大規模な天候不良が生じた時の飢饉の悲惨さは、洋の東西を問わず多くの古文書に遺されており、それは飽食と美食に慣れ切った現在の日本人には想像できないほどである。

飢饉をもたらすような天候の異常はかなり頻度高く発生し、すぐれた農業技術をもってしても、作物を保護し多収を得るには限界がある。それゆえ、人類は飢饉という好ましからざるパートナーと長い間一緒に生活してきたし、今後もまたそうであろう。

一方、最近における地球環境の微妙な変化（その多くが人間活動の野放図な膨張に由来すると思

われている）および爆発的に増大する人口は、食糧問題に過去と比較にならないような大きな意味をもたせようとしている。そこで、ここでは食糧生産に大被害をもたらす農業気象災害の実態、その原因、発生 の 周 期 性 お よ び 対 応 策 の 実 施 に お け る 営 農 的 な 考 え 方 な ど に つ い て 説 明 す る。

## 2. 農業気象災害の定義と種類

### 2.1 農業気象災害の定義

農業生産は、ほとんどの場合自然環境のもとに営まれていて、手厚い管理によって保護されているけれども、発生する自然現象のすべてに適応できるとは限らない。それゆえ農業生産に関係している作物、耕地、各種施設、および構造物が、気象・気候条件の大幅な変動によって損傷を受け正常な生産活動がいちじるしく妨げられることを農業気象災害とよぶことができる。いま、農業生産の主役である作物を例にして、この模様をモデル的に示すと図1のようになる。作物の収量反応は最上段のように近似でき、ある範囲で急減している。一方、気象・気候条件の出現頻度は、正規分布を仮定すると、図1の中段のようになり、作物の収量反応曲線との関係で、両側に資源量不足域と過剰域とが出現する。これらの域内に気候条件がずれ込むと、作物の生命活動はいちじるしく攪乱され、最下段にみられるように被害率は急上昇してくる。施設・構造物については、若干違った反応曲線が考えられるが、図1のような基本的関

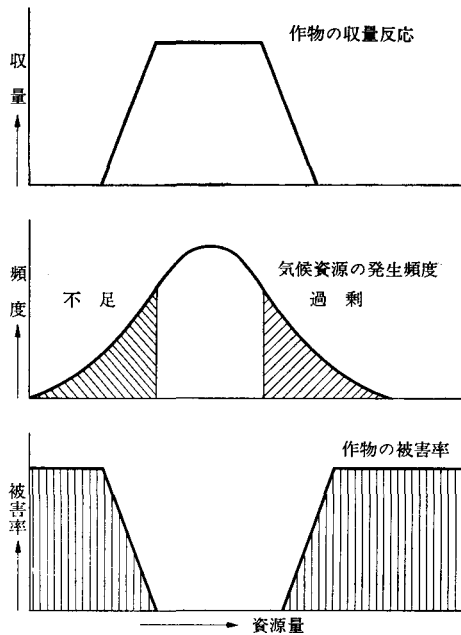


図1 作物の気象災害のモデル

係を認めることができるだろう。

## 2.2 作物の気候要求度

作物は生育期間を通じて茎葉を空气中に展開し、根を土壤中に張って、生長に必要な物質とエネルギーを周辺環境から吸収している。また、新陳代謝による老廃物を環境内へと放出している。作物がよく生長・繁茂し、豊かな稔りをあげるには、生理的要求に応じて上記の諸過程がスムーズに進行することが必要である。

自然の進化の結果と人間の努力によって作出された作物は、地球上に形成されている気候条件により広く適応して生産をあげるようになってきた。しかし、地球上の気候は温度的にも水分的にもきわめて広い範囲に変化していて、そのすべてにおいて作物の生理活動がスムーズに行なわれるとは考えられない。このため、古くから農業のなかには適地適作という環境条件を受動的に効果的に利用する技術が発達してきた。これは、作物の気候要求度と地球上に形成されている気候条件との非整合性を、地域的移動によって整合させ稔りを豊かにしようという技術である。

作物の気候要求度は包括的なものであるが、植

表1 数種作物の温度資源要求度 (Sapozhnikova, ら 1957)

作物	熟性	必要最低温度℃		生育期間 積算気温 ℃ day
		発芽	成熟	
イネ	極早生	12~15	15~12	2200
	中生	12~15	15~12	2750~2650
	晩生	12~15	15~12	3200~3150
オムギ	極早生	4~5	12~10	950~1150
	中生	4~5	12~10	1200~1350
	晩生	4~5	12~10	1300~1450
冬コムギ	早生	4~5	12~10	1150~1300
	中生	4~5	12~10	1300~1450
	晩生	4~5	12~10	1400~1500
春コムギ	早中生	4~5	12	1400~1500
	中晩生	4~5	12	1500~1600
	晩生	4~5	12	1600~1700
ソルガム	早生	12~15	12~10	2400
	中生	12~15	12~10	2500
	晩生	12~15	12~10	2900
種実用トウモロコシ	極早生	10	10	2100
	中生	10	10	2400
	晩生	10	10	2900
ダイズ	極早生	10~11	10~12	1710
	中生	10~11	10~12	2450
	晩生	10~11	10~12	2950

物の生命活動にとって最も大切な温度資源と水資源に対する要求度に分けて評価するのが普通である。多くの作物気象研究からまとめられた温度資源要求度が表1に示されている。一般にムギ類は比較的に低い温度の地域でよく栽培され、ソルガム、トウモロコシ、ダイズ、イネと次第により高温を必要とするようになる。表1の最後の欄には生育完了に要する温度量が示されている。各作物栽培にとっての温度的好適域とは、この温度量が頻度高く出現する地帯ということができる。

作物の生命活動にとって水は必須のもので、この多少は食糧生産を左右する。いま、いくつかの例を示すと図2のようになる。図にみられるように、トウモロコシとコムギは水分域について最大値をもち、その両側の水分不足と水分過剰の両域で収量が減少するという特徴もっている。この特徴はすべての作物にみられる普遍的なものである。水分不足域では、土壌からの吸水が困難となり、体内水分は減少し気孔が閉じてくる。このた

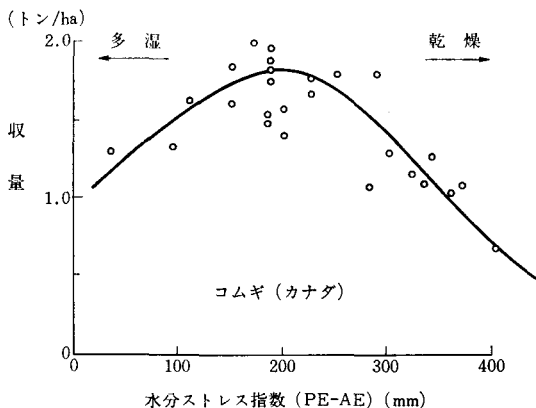
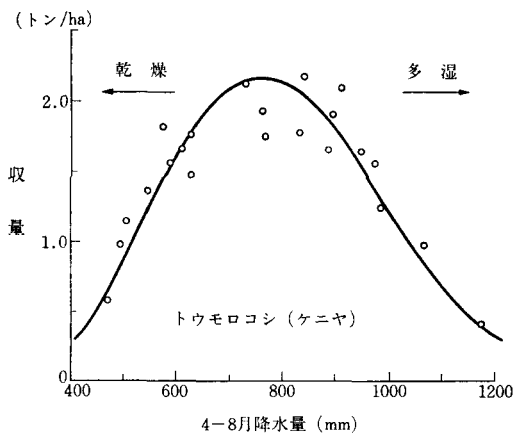


図2 トウモロコシとコムギの収量と水分条件 (Mack, 1977)

め、作物の生命活動に必要なガス交換が抑制され、生長が極度に悪くなる。一方、あまりに水分が多いと、土壤中の酸素分圧が低下して根の活性が鈍くなり、養分および水分の吸収が不良になってくる。

### 2.3 災害の種類と被害

上の説明から判るように、農業気候資源の不足と過剰が減収をもたらす最も重要な因子である。その典型的な例をあげると表2のようになる。各気候資源の不足と過剰とが独立的に発生して農業災害をもたらすことは少なく、多くの場合2~3の気候資源の過・不足が同時に発生して大きな被害となる。たとえば、夏の畑作物に大きな被害をもたらす早

表2 農業気象災害の種類と資源状態

	温度資源	降水資源	風資源	日射資源
不足	凍害(果樹, ムギ類) 霜害(果樹, ムギ類) 冷害(イネ, マメ類) 冷水害(イネ)	早魃(全作物)	二酸化炭素不足(全作物)	少照害(ハウス野菜)
過剰	高温害(冬ムギ類) 早魃(畑作物)	水害(全作物) 水食(畑作物) 雹害(夏作物) 雨害(ムギ類)	風害(全作物) 風食(冬ムギ類)	早魃(畑作物)

括弧内は主たる被害作物を示す。

魃の発生は、下のように降水不足と過高温（過大な日射量と水分不足に由来する）とによって加速される。

- 早魃発生：
1. 夏期平均気温が平年値より約2℃高くなる。
  2. 夏期降水量が平年値の60~70%に減少する。
- 大早魃発生：
1. 夏期平均気温が平年値3~4℃高くなる。
  2. 夏期降水量が平年値の50%以下になる。

この模様を端的に表わしたのが図3である。ア

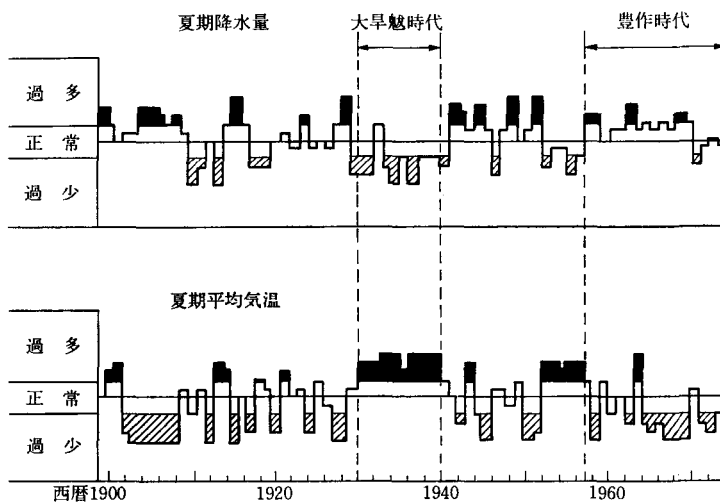


図3 アメリカのコムギ栽培帯における気候条件の変動 (Natl. Defense Univ., 1978)

メロカ中部大平原のコムギ栽培帯の夏期気候の経年変化は上記の旱魃発生条件が1930年代のいわゆるダストボール時代に約10年間連続したことを示している。この時代の農村の荒廃ぶりはスタインベックの怒りの葡萄に詳述されている。図4に示されているように、ダストボール時代の旱魃は汎地球的でカナダ、ウクライナ、カザフ地方のムギ作も甚大な被害を受け、作柄は60~70%台まで低下した。

農作物の気象災害は、地域的に狭いものほど頻度高く、広い被害地域をもつ災害の発生頻度は急激に低下することが多い(Logvinova, 1973)。それゆえ、一定の面積以上をもつ国および対象期間が短い時には、その被害は意外に小さい。とはいえ、被害地域では収穫皆無になり、農民の生活が危機に瀕することは稀ではない。若干対象期間が短く、しかも、やや古い憾みがあるが、小沢(1974)の取りまとめた結果を示すと表3のようになる。表のように、昭和43年を除いて、当時の金額で1000億円を越え、農業総生産に対する比率は2.3~4.8%となっている。大きな災害のない比較的に温和な期間においても、この程度の被害は毎年発生しているものと思われる。また、30年間に1回程度の発生頻度といわれている異常気象の被害は、平均的被害の2~5倍の規模になるだろう。農業気象災害は恒常的に総生産額の2~4%

表3 わが国の農業気象災害の実態 (小沢, 1974)

年次	農業総生産(億円)	農業気象災害額(億円)							被害総額(億円)	被害総額総生産額
		風水害	冷害	干害	雪害	雹害	霜害	その他		
昭40	30,433	823	551	—	36	34	16	—	1,460	4.8%
41	34,262	388	748	59	—	33	10	78	1,360	3.8
42	40,211	170	—	943	42	48	3	—	1,208	3.0
43	42,366	242	—	—	65	51	—	40	398	0.9
44	45,091	268	620	88	18	7	49	—	1,050	2.3
45	45,535	894	—	103	—	7	—	51	1,055	2.3
平均	39,652	464	320	198	27	30	13	28	1,081	2.7

で推移し、この上に大規模被害が上積みされるという特徴をもっているように思われる。

### 3. 作物収量の変動と気象災害の周期性

#### 3.1 作物収量の変動

適地適作の考えのもとに農業を実施しても、自然に発生する天候または気候の変動は作物の生育を抑制し、収量の変動をもたらすのが普通である。収量変動(トレンド値で基準化されていて、これを作柄指数とよぶ場合が多い)の一例が図4に示されている。図にみられるように、かなり広い地域を対象としているにもかかわらずコムギの作柄指数はかなり大幅にゆれ動いている。とくに、気候条件のきびしいカナダとソビエトではい

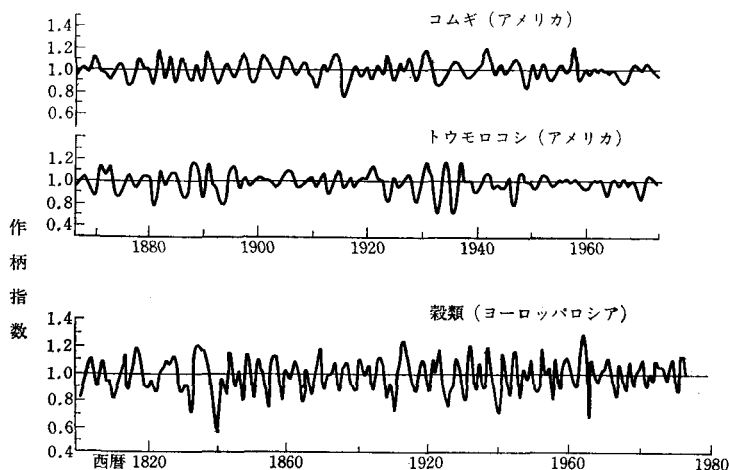


図4 作物収量の変動 (Rauner・Lozovskaya, 1978)

表4 気候条件による作柄変動係数の変化

イ	7・8月平均気温	19	21	23	25°C
	ネ	CV <sub>1r</sub> %	31	21	12
コムギ	1~6月降水量	130	170	210	250mm
	CV <sub>1r</sub> %	47	30	21	17

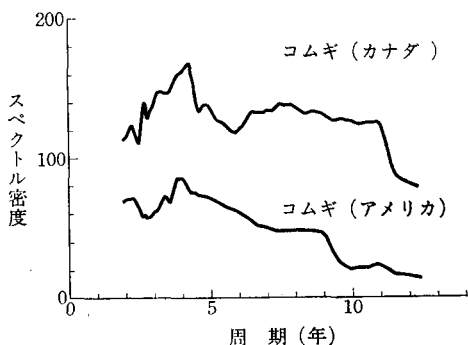


図5 作物収量の変動のスペクトル  
(Rauner・Lozovskaya, 1978)

ちじるしい減収が記録されている。気候条件の変動が作物の好適気候域で反復されているならば、原理的には作物収量の変動はおきなくなる。変動が好適域を外れる度合の強くなるほど、すなわち、気候的辺地に接近するほど作物収量の変動もいちじるしくなる。わが国のイネ栽培とソ連・カナダ・オーストラリアのコムギ栽培とを例にして、作柄指数の変動係数(CV<sub>Y</sub>)と気候条件との関係を見ると表4のようになる。イネでは温度資源の不足につれて、コムギでは水分資源の不足につれて、作柄の変動係数は急増し、30%以上にも達している。最近では、人口の重圧によって耕地拡大が続けられているが、それは気候的辺境地へと外延する場が多い。それゆえ、収量変動はますます大きくなり、食糧供給は不安定さを増す傾向にある。このことは、フルンチョフによるカザフ処女地開拓の失敗を見れば明らかである。

図4に示されている収量変動がどのようなスペクトル成分をもっているかは大変興味ある問題である。最近、Folland(1977)はイギリスのパレイショ収量変動のスペクトル分析にMEMを用いた結果を発表している。また、Rauner(1978)は図4に示した収量変動の分析を行なっている。Raunerの得た結果が図5に示されている。最大密度は周期4年に明瞭に見わ

れている。カナダのコムギでは、4年周期の他に、7~8年の周期の付近に弱い山が見られる。これらのデータについては、統計年数が短いので(100年以内)分解能力の高いMEMによる分析が必要のように思われる。

### 3.2 気象災害の周期性

大飢饉に関する古い記録の分析から、比較的に飢饉の発生しやすい時代がある期間をもって周期的にみられるという指摘はかなり古くからあり、この周期性と太陽黒点の増減周期とを関連づける試みも多くなされている。たとえば、高橋(1978)は17世紀から20世紀にかけての世界の大飢饉記録を解析してブリックナー周期に相当する約35年周期の見出されることを報告している。1800年以降現在までの約200年において、わが国農業で最も大きい気象災害であるイネ冷害と旱天・早魃の発生頻度(10年間ごとの回数)の経年変化をみると図6のようになる。イネ冷害においては直感的に30~40年の周期で冷害多発の年代が訪れているように見受けられる。約180年間に52回の冷害が発生しており、イネ冷害はわが国の農業にとって最も深刻な気象災害であった。明治以降のわが国の農業技術の発達は、冷害との苦闘の歴史であったといえる。一方、もう1つの大きな気象災害である早魃は、この間に50回発生しており、回数としては冷害とほぼ同一である。冷害のような擬周期的動きをそのなかに認めることはむ

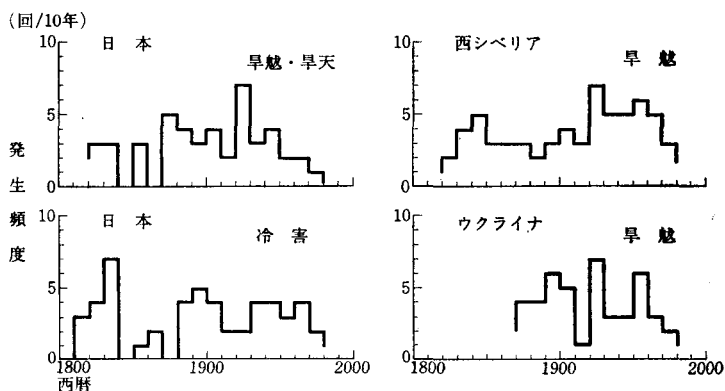
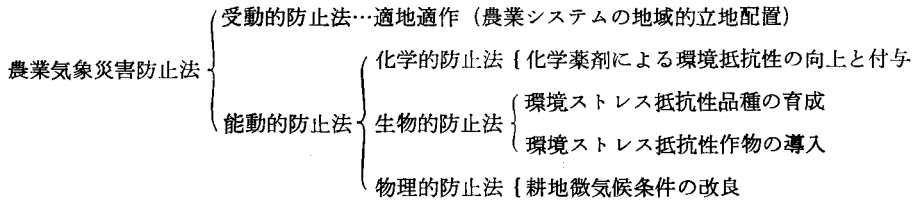


図6 日本とソビエトにおける農業気象災害の発生  
(Rauner, 1979, 坪井・根本, 1976)

表 5 農業気象災害防止法の分類



ずかしい。1920年代の7回をピークとして、その後早魃発生が急減しているのは、灌漑施設の普及によるものと思われる。このような現象は、大面積の畑地作物を対象とする国ではあまり見られないことである。比較のために広大な半ステップ地帯をもつ西シベリアとウクライナにおける早魃頻度の変化が同図に示されている。図において顕著なことは、1930年代に7回も早魃が多発しており、さきに説明したように1930年代早魃がきわめて広い地帯に発生したことである。約20年において1950年代にも6回早魃が発生しており、この時代は小早魃時代とよばれている(図3参照)。

#### 4. 農業気象災害の防止

すでに説明したように、気象災害は作物のもつ適応環境域と耕地に生ずる環境条件との不整合によってもたらされる。この不整合をもたす最大の原因は一般気候条件の変動・変化によってもたらされる農業気候条件の変化である。このような条件下において、農業生産を安定化させ多収を得るために多くの方法・技術が採用されまた試用さ

れているが、それらを分類すると表5のようになる。農業経営の観点からみると、まず災害防止に要する資金、資材およびエネルギーの量が最低で最大効果を得られるように、表5に示されている各技術を選択して使用することが大切である。この場合、農業経営の立場からどの程度の災害(災害の程度は、主として異常気象値の再現期間で特徴づけられる)に対処できるかを作物別、地域別に明らかにしておくことが必要である。

#### 4.1 受動的な災害防止法

元来、農業生産システムは地域の風土を背景として作り出されたものであるが、安定多収を目標にしてより合目的に作物・品種を地域条件(気候、土壌、生物相など)にフィットするようを選び、管理するのが適地適作の基本である。このため、地域条件の空間的・時間的分布が平均データ(たとえば気象の平年値のような)を用いて解明され、これと作物の気象反応特性とから作物目・品種の立地配置がなされてきた。しかしながら、すでに説明したように、気象値は平年値のまわりに変動をくりかえしており、変動の程度およびその作物生産への影響は地域で大きく変化する。作物の立地配置をより合理的にするには、平均データだけでなく、変動特性(標準偏差の大きさ、再現期間値、季節変化のパターンなど)の地域的変化も考慮に入れなければならない。

多くの夏作物の生育・収量を大きく規制している有効積算気温( $\sum T_{10}$  °C日、日平均気温10°C以上の期間についての日平均気温の積算値)の変動を例にして、種々な再現期間を採用した時の等値線の南北移動を説明しよう。わが国の緯度帯において、各再現期間に応じた気温変化が生じた時

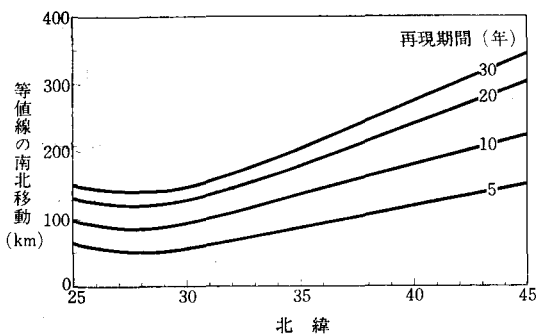


図 7 日本地区における有効積算気温等値線の南北移動 (内嶋, 1976)

の $\Sigma T_{10}$ 等値線の南北移動が図7に示されている。25~30°N帯で最も少なく、緯度につれて増大する。気象庁定義の異常気象に対応する再現期間30年では、北海道地区では±300kmと大きい。九州地区ではほぼその半分である。この図は、高緯度ほど気候変動の大きいことを示している。多発する異常気象条件下で安定多収を得るには、農業気候資源の分布に資源の変動特性を加えて、立地配置を考えることが必要である。

#### 4.2 能動的な災害防止法

これは特定の資材およびエネルギーを用いて作物または周辺条件に働きかけて、作物と環境条件の不整合の程度を弱めてやる方法である。働きかける対象および使用する資材の特徴によって化学的、生物学的および物理的に分けられる。化学的防止法では、ホルモンその他の化学物質を作物に作用させストレス抵抗性を高める方法で、現在、イネ・ソルガムなどの耐低温性向上にエチレングリコール、グリセリン、コレステロールなどの施用が試みられている(田島, 1978)。しかし、これらはまったく緒についたばかりで、実用化には多くの年月を必要とするだろうし、また化学薬剤を使用する点で注意しなければならない。

生物的方法は稲作の北進において顕著な成功を取めた(松尾, 1959)。すなわち、明治19年品種赤毛の時には、北海道の稲作は函館地区にかぎられていたが、低温抵抗性の高い坊主によって石狩平野域へ(明治27年)、さらに走坊主と農林11号の育成(大正12年と昭和12年)によってほぼ全域へと広がった。その後のレイメイ・フジミノリという耐冷性品種の育成・普及によって、かなりの冷害気象が発生しても相当程度の収量をあげ得るまでになってきた。その他の環境ストレスについて、イネでの耐冷性品種育成のような成果は現在得られていないが、地道な努力を続けることによってそれも可能になるものと思われる。

物理的防止法は、耕地微気候の形成を左右している熱エネルギーの配分条件、水収支条件、風条

件に積極的に働きかけて、不良な気象環境を改変する方法である。古くから自然の資材(ワラ、防風林、溜池など)を用いてなされていたが、最近では工業技術による生産物(ビニールフィルム類、各種ネット類、深層地下水など)を利用する方法が急伸している。その最たるものが温室園芸農業である。

一吹き 100万トンの言葉に代表されるように、台風は大きな気象災害をもたらす。古くから台風から作物を保護するために防風林が多く設けられている。そして、防風林の空気力学的効果について多くの研究がなされ、防風林の減風効果は樹高の約10倍に達することが明らかとなった。一方、営農的観点からの防風林の要・不要に関する研究はほとんどなく、わずかに谷(1967)があるだけである。彼は単純なモデルを用いて南九州地域における防風林の長期平均収量に対する効果を判定し、防風林の設置は収量の変動を大幅に抑制するが平均収量はほとんど変化なく、密な防風林では若干低下する傾向さえ生ずると述べている。そして、防風林の設置判定には、つぎの項目を考慮しなければならないといっている：

- i) 台風の襲来頻度とその大きさ
- ii) 作物収量と台風(風速)との関係
- iii) 作物生産の目標(安定化か一時的多収か)
- iv) 台風以外の通常風に対する防風林の効果

上記の項目は他の気象災害についてもあてはまるものである。現在までの気象災害防止法の研究が災害発生時の効果だけに限られていたことを考えると、谷の指摘は、より実際的な営農的な災害防止技術の開発への出発点となるものである。この指摘を正しく発展させるためには、気象環境と作物との反応関係の定量化、防止技術を施用した時の気象環境の改良程度の定量的予測技術の確立および種々な異常気象現象の発生を含めての時系列データの収集などを平行して進めることが必要である。

(うちじま・ぜんべえ 農業技術研究所)

引用文献

- [1] Logvinova, K. T.: *Characteristics of the 1972-Drought in Ukraina*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1973.
- [2] Mack, A. R.: Long-term moisture stress index. *Climatic Variability in Relation to Agricultural Productivity and Practices*, Canada Committee on Agrometeorology, Ottawa, 1977.
- [3] 松尾孝嶺: 育種学, 養賢堂, 東京, 1959.
- [4] National Defense University, *Climate Change to the 2000*. Washington, 1978.
- [5] 小沢行雄: 日本における農業気象災害. 新編農業気象ハンドブック(農業気象ハンドブック編集委員会), 養賢堂, 東京, 1974, 503-510.
- [6] Rauner, Yu. L., and Lozovskaya, L. A.: Variation in wheat and maize yield in the Northern Plaine of USA. *Series Geography*, No. 1 (1978), 90-101.
- [7] Rauner, Yu. L.: Synchronism of drought in crop regions of Northern Hemisphere. *Series Geography*, No. 1 (1979), 5-19.
- [8] Sapozhnikova, S. A., Mel', M. I., Smirnova, V. A., and Kikitorova, A. T.: Test of characterizing agricultural resources in USSR. *Trudy, N-II Aeroclimatology*, 1957, 78-114.
- [9] 田嶋公男: 作物の低温障害. 作物の生育とその制御(科学技術庁編), 1978, 158-164.
- [10] 高橋浩一郎: 世界の大飢饉の経年変化. 災害科学研究会-気象部会, 1978, 1-8.
- [11] 谷 信輝: 台風災害対策の研究. 九農試年報, Vol. 12, No. 3, 4(1967), 343-387.
- [12] 坪井八十二・根本順吉編: 異常気象と農業. 朝倉書店, 東京, 1976, 1-211.
- [13] 内嶋善兵衛: 有効積算気温の永年変化と変動特性. 農業気象, Vol. 32 (1976), 185-194.

本誌バックナンバー案内 (ゴチックは特集タイトル)

1979年8月号	国際関係 解説 OR, そのみなもとをたずねる③ 事例研究 数量化I類による優秀なセールスマンの選別採用の試み 公共性の判断に関する定量的分析	巡回セールスマン問題 事例研究 小売店立地計画の新しい考え
1979年7月号	流通 解説 OR, そのみなもとをたずねる② 総合報告 整数/組合せ計画法の現状⑥ 組合せ問題の計算上の複雑さについて 官庁統計の利用と普及について	1979年4月号 スポーツのOR 総合報告 地域研究② 事例研究 企業合併の計量分析
1979年6月号	ストッピングルール 解説 OR, そのみなもとをたずねる① 総合報告 整数/組合せ計画法の現状⑤ ナップ・ザック問題, 集合被覆問題 講演 都市交通システムの最適設計	1979年3月号 食糧問題とOR 解説 回帰分析の変数選択における分枝限定法 総合報告 地域研究①
1979年5月号	プレゼンテーション 総合報告 地域研究③ 整数/組合せ計画法の現状④	1979年2月号 官庁統計 総合報告 マンパワー・プランニング問題に関する研究の総括と展望 事例研究 郵便輸送システムのシミュレーション
		1979年1月号 予測 総合報告 整数/組合せ計画法の現状③ 種々の実用的な技法 ORサロン マルコフモデルとOR