

# 四国地方における干害発生的气候学的指標

日本の気象災害の研究(2)

黒坂裕之

## A Climatological Index Estimating Drought Damage in the Shikoku District

Hiroyuki Kurosaka

### 1. はじめに

干ばつによる農作物の被害は長期間にわたって降水量が少なく、かつ日照りが続くため、土壤水分が不足し、作物の生育が抑制されたり停止する被害である。水分不足の程度が著しく、かつ期間が長くなると、ついには枯死にいたる。干害は人類が農耕を始めて以来、作物栽培にとって逃れることのできない災害であったと考えられる。

「干害は古大から明治末期まで重要な大災害であり、用水源を整備してもそれに対応して耕地の拡張が行われたため干害が解消されなかった。大正期から昭和10年代までは近代的な土地改良事業によって若干の安定性がでたが、干害の解消は戦後の干害率を勘案した用水事業の進展によってはじめて達成されようとしている。現在では畑地または各地田にごく局所的に干害地域が残っているにすぎない」と西川は述べている(中川, 1976)。

しかし、その後の日本農業においては、畑作が水田作に比べて相対的に比重を増してきているので、農業気象災害に占める干害の位置は相対的に高まっていると考えられる。最近十数年間に発生した農業気象災害をみても、

干害は冷害、風水害に次ぐ大きな災害となっている。

一方、最近の干害の特徴として、新たに都市用水や電力用水の不足という面が大きくクローズアップされたことがあげられる。

本研究では、四国地方における干害の発生的气候学的特徴を明らかにし、干害発生的气候学的指標を明らかにすることを目的とする。

### 2. 研究方法および資料

干害の被害量については、農林(水産)省の「作物統計」を用いた。この中で被害統計の整備されている水稻を調査の対象とした。期間は1961年から1985年である。

水稻干害被害率は次の式で求められる。

水稻干害被害率＝

被害量(推定減収量)／平年収量×100

水稻干害被害面積は次の式で求められる。

水稻干害被害面積率＝

被害面積／作付面積×100

降水量の多寡などの気候資料は、四国地方でもっとも長期にわたる観測の行われている香川県多度津の値を主に使用する。気候資料で干害を表示する指標を考案し、その気候学的指標の検討を行なう。

### 3. 四国地方の水稲生育ステージと水稲の耐干性

水稲は干ばつにあうと、生長が抑制される。水稲が活着できる限界土壌水分は飽和用水量（土壌の全孔隙が水で占められているときの水分量）の35%で、40~45%では10日、60%では4日で活着する。田植えの時の水不足は成育の遅れをまねき、枯死する場合もある。栄養生長期は成育を抑制し草丈が低く止葉も小さくなり、分けつ数も抑制される。生殖生長期は穂の短小化、穎花数の減少、不穏となって現われる。これが減収の原因となる。幼穂形成期は枝梗の減少、したがって穎花数の減少をもたらすばかりでなく、穎花は奇形となり、途中で発育が止まったものはほとんど白穂となる。穂ばらみ期の水分不足は穂の抽出が妨げられ出すくみとなる。登熟期は米粒の肥大を妨げ屑米が多くなる。

図1は香川県多度津における年平均平均気温・旬降水量と香川県における水稲の生育ステージを示す。水稲の生育ステージは気象庁観測部「農作物と気象」による。

生育ステージを記号で示し、Sはは種期、Tは移植期、Hは出穂期、Pは収穫期をそれぞれ示している。各生育ステージの干ばつに対する抵抗性を、非常に弱い(VW)から強い(S)の4段階で現わしている。水稲の干ばつに対する生育期別の抵抗性は、幼穂形成期から出穂開花期にかけて弱く、とくに穂ばらみ期が危険で不稔靱などを生じやすい。ついで、活着期が弱い。分けつ期もやや弱い。登熟期は登熟が進むにつれて強くなる。

四国地方、特に香川県においては水稲の耐干性の弱い時期は4月から9月であることがわかる。

### 4. 四国地方の干害の気候学的指標

#### 4.1. 干ばつ・干害の気候・気象学的指標

干ばつは第一に「著しく降水量の少ない状

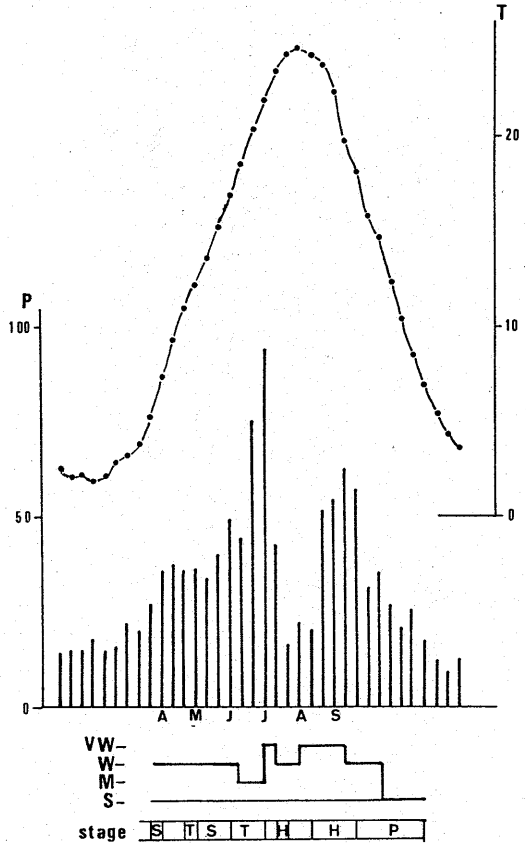


図1 多度津の年平均平均気温・旬降水量と香川県における水稲作季

stageは水稲作季を示す。

Sは種期、Tは移植期、Hは出穂期、Pは収穫期を示す。

干ばつに対する抵抗性をVW、W、M、Sの4段階で示す。

(気象庁観測部「農作物と気象」ほかによる)

態」に関係している。しかし、干ばつの被害である「干害」の発生条件の表示は非常に複雑である。災害としての「干害」には、水の絶対量と同時にその配分が問題となる。社会・経済の状況により、配分の度合いが異なって来るからである。

すでに、久保木(1976)は干害の気象学的指標について、分類・整理を行なっている。ここでは、久保木の記述を中心に四国地方の

干害の気候学・気象学的指標として、これまで知られていることを整理する。

農業における干害を考えるとときに、降水量ばかりでなく、水分の過不足は有効降水量と蒸発との収支が問題とされる。単に降水が多いか少ないかによって干害が起こるのではなく、その前の水分の過不足が大ききいている。

合田は香川県の干ばつについて調査した。多度津の1～3月の総降水量が140mm未満の時は17回のうち干ばつの発生は8回、干ばつがなかったのは9回となっている。140mm以上になると41回のうち干ばつがあったのは2回で、39回は干ばつ年ではなかったことを示している。

日下部は気温と降水量から土壌水分の不足量を推算し、これと干ばつの関係を調べ、密接な関係を見だしている。7～9月の水分不足が135mm以上の年には干害の発生件数が多くなっているが、水分過剰の多い年には干害になっていないことを示している。

大後・鈴木は干害の被害率と5～8月の降水量とに関係があることから、被害が急激に増大する臨界降水量を求めている。香川県の例では、「干ばつ」といわれる程度の被害、

8.2%の被害率のおこる降水量は310mm(62%)である。合田は夏季6月から8月の降水量300mmが、干害発生の限界値であるとしている。同じように、長田は佐賀県松浦地区について被害率が10%を超える5～8月の降水量がおよそ800mm(72%)であることを導いている。

久保木(1976)のまとめた表を中心として、表1にこれまでの調査でえられている干ばつ・干害の気候学・気象学的指標をまとめた。

#### 4.2. 四国地方の干害の気候学的指標

図2は四国各県の水稲干害被害率の経年変化を示す。図の上段から、四国地方、香川、徳島、愛媛、高知の各県を示す。最上段の記号Dは干害発生年を示す。縦軸は水稲干害被害率を%で示している。期間は1961年から1985年である。

一般に干害による被害は風水害による被害に比べ、その被害率は小さい。しかし、干害は2、3年おきに発生しており、1960年代前半には四国各県で干害による大きな被害が発生している。1970年代に入ると、これまで、被害率の大きかった愛媛県・高知県での干害はほとんど発生しなくなる。香川県の干害は、その被害率は1%未満ながら、1980年前半に

表1 これまでに得られている干害の気候学的指標

研究者	要素	限界値	地域
大後(1945)	作物栽培期間の降水	45% >	
大後・鈴木(1945)	5～8月降水	310mm >	香川
寺田(1949)	夏 降水	70% >	
合田(1950)	夏(6～8月)降水	300mm >	香川
森(1965)	8月	100mm >	高知
	7, 8月	47% >	
長田(1967)	5～8月	60% >が2か月	佐賀
菊池原(1953)	無降水継続	5半旬で60% 8半旬で100%	関東以西
長田(1967)	無降水継続	10日以上で70% 25日以上で100%	佐賀
日下部(1966)	7月～8月の土壌水分不足	135mm <	香川
諸富(1968)	6～9月土壌水分	250mm >	熊本

久保木(1976)のまとめた表を中心にとまとめ直した。

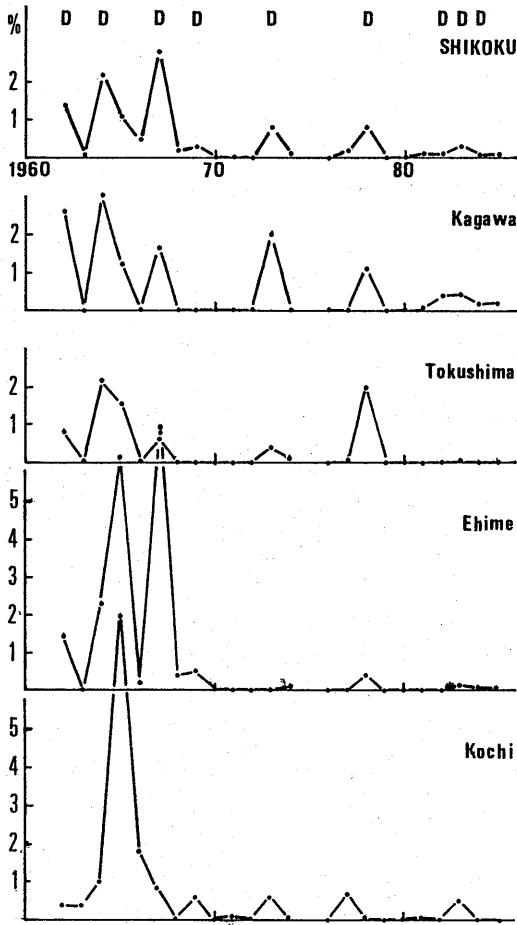


図2 四国各県の水稲干害被害率の経年変化  
上から四国地方、香川、徳島、愛媛、高知の各県を示す。  
最上段のDは干害発生年を示す。

も連続して発生している。

1985年の水稲作付面積をみると、四国地方の作付面積85,600haの28%を徳島県が、27%を香川県が占めている。干害被害面積をみると、その60%が香川県である。香川県は水稲作付面積も多く、干害の発生数・被害率ともに四国地方の中では高い値を示している。以後は香川県を中心に考えていくことにする。

干害を考えるときに、降水量ばかりでなく、水分の過不足が重要である。水分の過不足は降水量の多寡だけでなく、土壌から水分を奪

う蒸発量をも考慮しなければならない。ここでは、降水量と気温の比によって水分の過不足を表現する。水稲の栽培ステージ別の耐干性を参考に、対象とする期間を4～9月の暖候季とする。以下では、暖候季降水量・気温比を $R_q$ とする。

図3は香川県多度津の暖候季降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害率との関係を示す。縦軸は水稲干害被害率を%で、横軸は暖候季降水量・気温比を示す。大きい丸印は四国地方の干害発生年を示す。

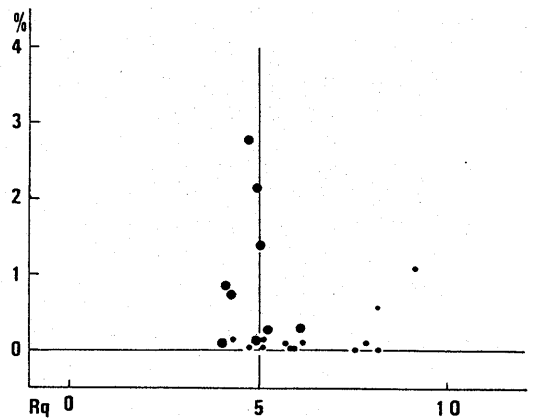


図3 多度津の暖候季降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害率

縦軸は水稲干害被害率(%)を、横軸は暖候季降水量・気温比( $R_q$ )を示す。

●は干害発生年を示す。

水稲干害被害率=被害量/平年収量 $\times 100$

水稲干害被害率はおおむね、0.5%以下である。しかし、 $R_q$ が5を下回ると1%を超える場合が出現する。また、干害発生年の大部分は $R_q$ が5以下で出現している。1961年から1985年の25年間で、 $R_q$ が5以下の年は10年であり、そのうちの7年で干害が発生している。この10年の内、干害被害率が0.5%を超えている年は5年である。一方、 $R_q$ が5を超える年は15年であり、干害発生年は2年のみである。また、干害被害率が0.5%を超える年はわずかに2年のみである。

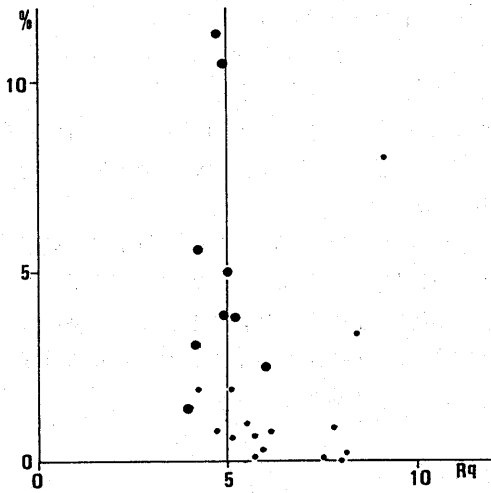


図4 多度津の暖候季降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害面積率  
縦軸は水稲干害被害面積率(%)、横軸は暖候季降水量・気温比(Rq)を示す。  
●は干害発生年を示す。  
水稲干害被害面積率=被害面積/作付面積×100

以上から、四国地方においては、干害の発生の一応の限界値は、暖候季降水量・気温比が5と考えられる。

次に、被害を受けた面積からみることにする。図4は多度津の暖候季降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害面積率との関係を表わす。縦軸は水稲干害被害面積率を%で、横軸は暖候季降水量・気温比を示す。大きい丸印は四国地方の干害発生年を示す。図4から、非干害年の水稲干害被害面積は1%以下であるが、干害発生年では、その範囲が広く、十数%の被害面積率となる場合もあることがわかる。

これまでに得られている香川県における干害の気候学的指標のいくつかと比較を行なう。

日下部は香川県においては7～9月の土壤水分不足が135mm以下になると干害が発生することを示している。そこで、直接的に土壤水分不足量ではないが、7～9月降水量・気温比を用いて、干害発生年との関係を調べ

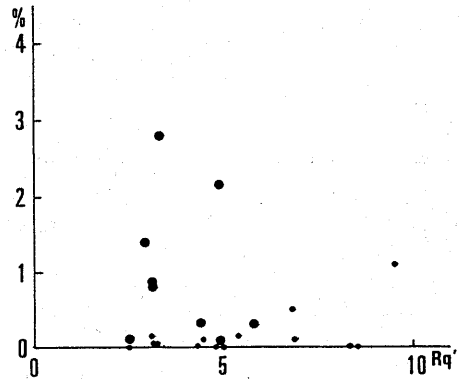


図5 多度津の7～9月降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害率  
縦軸は水稲干害被害率(%)を示す。  
横軸は7～9月降水量・気温比(Rq')を示す。●は干害発生年を示す。  
水稲干害被害率=被害量/平年収量×100

る。

図5は多度津の7～9月降水量・気温比と四国地方の水稲干害被害率との関係を示す。縦軸は水稲干害被害率を%で示している。横軸は7～9月降水量・気温比(以下、Rq'で表わす)を示す。大きい丸印は干害発生年を示す。

Rq'が小さくなると、水稲干害被害率・干害被害面積率ともに大きくなる。しかし、図3のように干害発生年と非干害年との間にはっきりした境界線は引けない。Rq'=5という値は考えられるが、Rq'が5以下の年は25年中18年あり、うち8年が干害発生年となる。Rq'=4を境界線と考えると、9年中5年の干害発生年となる。

次は、合田の示した6～8月総降水量300mm以下という指標を検討する。図6は多度津の6～8月総降水量と四国地方の水稲干害被害率との関係を示す。横軸は6～8月総降水量(mm)を示す。

合田の指標では、8年中5年が干害発生年となる。しかも、総降水量が400mmを超えても干害が発生する年が出現する。

合田は別に香川県の干ばつについて、多度

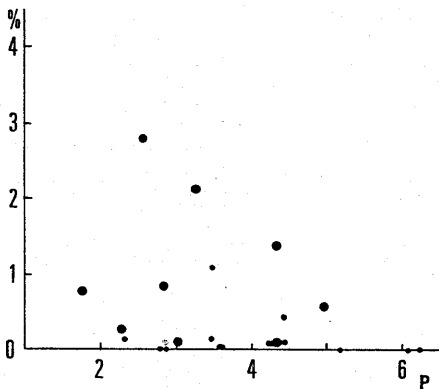


図6 多度津の6～8月総降水量と四国地方の水稲干害被害率  
 縦軸は水稲干害被害率(%)を示す。  
 横軸は6～8月総降水量(mm)を示す。  
 ●は干害発生年を示す。

津の1～3月の総降水量が140mm以上になると干ばつの発生はほとんどないことをしめしている。多度津の1～3月の総降水量と干害発生との関係を検討した。1961年から1980年についてみると、干害は140mm以上の時に多く発生している。140mm以上の年、17年のうち6年で干害が発生している。140mm以下の年では8年のうち2年の発生でしかない。近年には、合田の示した結果と逆になっている。

#### 4.3. 干害発生時の気候的指標の検討方法

前述の干害発生時の気候的指標の有効性を検討する。いずれも2×2の分割表によるカテゴリ予測であるので、菊地原(1988)の2カテゴリ予測の検証と評価の方法を用いる。2×2の分割表の記号表示は次のようになる。

		予 測		計
		W	NW	
実 測	W	A	B	A+B
	NW	C	D	C+D
計		A+C	B+D	N

Wの気候学的確率(p)は  $p = (A+B)/N$  で示される。これは、予測とは一切無関係に、予測を実施した期間の気候状態を表す。干害発生時の気候学的確率は36%である。また、Wの予測率(q)は  $q = (A+C)/N$  で表わされ、予測方法を反映した値となる。適中率(R)は  $R = (A+D)/N$  で示される。この値は気候学適確率の影響を大きく受けるので、そのままでは予測方法の保証には使えない。しかし、意味が単純明快で、理解しやすいので、予測の成績を表わす、最も基本的な検証指数である。

まず、最初に、適中率を計算する。次いで、 $B/(B+D)$  で求められる見逃し率も計算をした。

さらに、2カテゴリ予測の検証(評価)指数として、通常よく用いられているスキルスコア(T)を求める。スキルスコア(T)の定義式は次の通りである。

$$T = (S - S_c) / (N - S_c)$$

Sは適中数、 $S_c$ は気候学的適中数である。さらに、 $S_c$ は

$$S_c = \{(A+B) \times (A+C) \times (C+D) \times (B+D)\} / N$$

で示される。

スキルスコアはランダム予測であった度数(気候学的適中数)を当然あたるべき分として適中数からも予測度数からも差し引いて求めた適中率といえる。Tの値が大きいほど予測方法が優れていることになる。

適中率・スキルスコアによって、気候学的指標の良否を検討することとする。

#### 4.4. 気候的指標の検討結果

表2は四国地方における水稲干害発生年の予測方法別の分割表である。暖候季降水量・気温比( $R_q$ )5以下を干害発生年とした場合を(A)とする。7～9月降水量・気温比( $R_q'$ )4以下を干害発生年とした場合を(B)とする。6～8月総降水量(P)300mm以下を干害発生年とした場合を(C)

表2 四国地方における水稲干害発生年の予測方法の検証

(A)  $Rq = 5$

		予 測		計
		干 害	非干害	
実 測	干	7	2	9
	非	3	13	16
計		10	15	25

適中率 (R) 80 %  
 みのがし率 13 %  
 スキルスコア T 0.6576

(B)  $Rq = 4$

		予 測		計
		干 害	非干害	
実 測	干	5	4	9
	非	4	12	16
計		9	16	25

68 %  
 25 %  
 0.5277

(C)  $P = 300 \text{ mm}$

		予 測		計
		干 害	非干害	
実 測	干	5	4	9
	非	3	13	16
計		8	17	25

72 %  
 24 %  
 0.5480

とする。

横の欄には、それぞれ干害発生年の気候的指標が限界値以下になった場合を干害発生年の予測数として示した。縦の欄は実際の干害発生年数を示してある。本来は、各欄のパーセンテージも併せて示すべきであるが、総数が25であるので、個数のみの表示とした。

適中率 (R) はそれぞれ (A) の方法では80%、(B) では68%、(C) では72%である。また、みのがし率はそれぞれ (A) で13%、(B) で25%、(C) で24%となっている。スキルスコア (T) は (A) では0.6576、(B) では0.5277、(C) では0.5480である。

暖候季降水量・気温比 ( $Rq$ ) での予測はもっとも適中率が高く、見逃し率は他の場合の約半分であり、最も低い。スキルスコアも0.7近くあり、最も高い値となっている。以上から、四国地方の干害発生年の気候学的指標としては、多度津の暖候季降水量・気温比が適当であると考えられる。

## 5. まとめ

四国地方における干害の発生年の気候学的特徴を明らかにし、干害発生年の気候学的指標を明らかにすることを目標として、研究を行なった。

まず、四国地方の水稲生育ステージごとの耐干性を検討し、干害となりやすい期間を抽

出した。その期間中の気候要素の組み合わせから、干害発生年の新しい気候的指標を作成した。次いで、これまでの気候学的指標と今回の指標を2カテゴリー予測の検討方法で比較検討した。

その結果、暖候季降水量・気温比が四国地方における干害発生年の気候学的指標として十分に有効であることが示された。

本研究の一部には文部省科学研究費補助金総合研究 (A) 「来る半世紀の気候変動とわが国の食糧・エネルギー・水に関する研究 (研究代表者 筑波大学教授 吉野正敏：課題番号 61302083)」の研究費を使用した。

本論文の骨子は1988年日本地理学会春季学術大会において発表した。

## 文献

- 気象庁観測部 (1985)：農作物と気象. 日本気象協会, 74pp.  
 菊地原英和 (1988)：気象予測の検証と評価. 気象研究ノート. 第161号, 191pp.  
 久保木光熙 (1976) 干害の気候学的指標. 坪井八十二・根本順吉編「異常気象と農業」朝倉書店. 124~127.  
 中川行夫 (1976) 定義. 坪井八十二・根本順吉編「異常気象と農業」朝倉書店. 122~123.