

農学的視点による無降水期間の評価

STUDIES ON THE DURATION OF DROUGHT FROM THE AGRICULTURAL VIEWPOINT

早野美智子¹・岸井徳雄²・葛葉泰久³

Michiko HAYANO, Tokuo KISHII and Yasuhisa KUZUHA

¹正会員 博士(学術) 科学技術振興事業団(防災科学技術研究所) 科学技術特別研究員
(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

²正会員 博士(工学) 防災科学技術研究所 チーム長(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

³正会員 博士(工学) 防災科学技術研究所 部主任研究官(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

Recently, a lot of researches on predicting climatic change have been conducted, and the effects of climatic change on agriculture have been estimated from the viewpoint of agricultural meteorology. Quantitative evaluation of this effect is not, however, easy, since improvement of yields are related to multiple factors, including plant breeding and improvement of irrigation technology. This paper considers the relationship between precipitation and agricultural characteristics, and more specifically, an index that indicates the effect of drought on the yield. First, drought and pluvial years are defined here by the amount of precipitation, and the characteristics of both are discussed. Next, duration of drought is defined in three ways is considered. It could be concluded that duration of drought is an important index for predicting agricultural yields.

Key Words: duration of drought, little rainfall, agricultural drought index, climatic change

1. 序論

近年では様々な気候変動予測が行われ、それら変動の根拠や影響についての議論や有効な緩和策に関する報告がなされている。気象庁異常気象レポート¹⁾によれば、特に気温と降水量に関する異常気象は1980年代に頻発している。また、気象庁気象災害の統計²⁾によれば、1970年代以降、異常少雨の発生が日本全国的に多い様子が示されている。

これらの影響に関する農業気象学的見地からみた災害研究については古くから様々な成果がある。近年では例えば清野³⁾は、1991年～1993年にかけて実施された地球温暖化の世界の作物生産に与える影響の解明を目的としたプロジェクト研究の一環として、いくつかの気候シナリオと作物モデルを比較しながら日本国内の穀物生産への影響評価を行った。そして水稻・トウモロコシ・小麦に関する国内生産量は、気温の上昇、降水量の減少に伴って減少し、降水量とCO₂濃度の上昇に伴って増大するという評価を与えた。

主要作物の収量に関しては品種の改良や灌漑技術の進歩など様々な要因が複合的に関わってくるために、明確な定量評価を与えにくい。

そこで本研究では1980年代に起こった温暖化前後の比較的短期間の変化が主要穀類の栽培にどのような影響を及ぼしているのかについて調べるための試みとして無降水期間に着目した。また、実際の干ばつ事情と照らし合わせるために主要穀類である水稻・陸稲・小麦の収量データを用いた。稲作においては、苗の活着期および穂ばらみ期から出穂期にかけての時期に干害の被害を最も受けやすいことから、品種や地域が異なることによる期間の若干のずれはあるが、5月～8月の降水量に着目した。そしてこの時期に起こる少雨および無降水期間の長短や発生回数が、地域ごとの干ばつ年の特徴をよく表す、と仮定した。本研究ではこれらのデータから、1) 干ばつ年の特徴を無降水期間からどこまで表現することができるのか、2) 今後の解析手法として有効に使うことができるのかということについて検討することを目的とした。

2. データ

(1) 長期資料(1880~1998)

1880年（一部地点ではそれ以前）から1996年に観測された気象庁地上気象月報から、測定地点の大きな移動のない全国16地点（旭川・網走・札幌・秋田・山形・福島・金沢・名古屋・東京・境・広島・福岡・鹿児島・宮崎・松山・高知）について月平均気温および月降水量を抽出した。1997年、1998年については後述の日降水量資料より月平均値を求めたものを加えた。以降ではこれを長期資料と呼ぶ。

(2) 日降水量資料(1961~1998)

1961年から1998年の気象庁地上気象観測資料を用い全国151カ所について日別に降水量を取り出し整理した。以降では日降水量資料と呼ぶ。

さらにそれらを気象庁の季節予報時の細分地域を参考に区分した。農業気象災害や作物気候を論じる上での区分分けは、対象とする作物に応じて変化する。ここでは特に水陸稲および小麦に注目し、特殊農業気候区の諸例⁴⁾⁵⁾⁶⁾を参考にこれらの条件を包含できるようにするための試みとして、先の関東甲信地方は、関東内陸、関東沿岸および甲信に分割、さらに「奄美」「沖縄」「その他」の島嶼地域は対象から削除し最終的には20区分とした。

(3) 作付面積資料(1966~1996)

農林水産省の、都道府県別耕地および作付面積統計から水稲・陸稲・小麦それぞれについて作付け状態などを把握しようとした。また実際に起こった干害による被害状況を把握するために、気象庁農業気象年報による都道府県別干ばつ被害面積を用いた。

3. 解析方法

(1) 長期資料 (1880~1996)

1880年（一部地点ではそれ以前）から1998年について抽出した各地点での月平均気温と月降水量から5月~8月降水率を求めた。これは次式によって表される⁷⁾。

$$\begin{aligned} & \text{5月~8月降水率} \\ & = \text{該当年の5月~8月降水量} / \text{5月~8月平均降水量} \end{aligned}$$

ここで用いる平均値は、5月~8月について1961年から1990年の測定値を算術平均した値である。この対象期間については気象庁の平均値が10年ごとに更新されるたびに若干変化していることを考慮している。例えば熊谷地方気象台での平均気温は、1961~1990年の平均値に比べ1971~2000年はすべての月で0.1~0.5℃の上昇が確認されている。特に90年代以降の冬期の高温化について、全体的な都市化と大きな意味での地球温暖化が原因という

気象庁による説明が一般的知見とされている。これらのことをふまえ、温暖化の傾向が顕著に現れ始めたといわれている90年代以降を含まない最近の平均値を用いることによって、過去や近年の傾向がより明らかになると考えた。さらに5月~8月の雨量は平均値の45%以下になると干害が発生するともいわれており、過去には多く研究がなされている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。これらの知見をもとに4. (1)で後述する定義に従い抽出した少雨年および多雨年に関して、それらの特徴の年代別変化および地域特性に関する検討を行った。

(2) 日降水量資料(1961~1998)

この時日降水量資料から干ばつの指標となる気候値を抽出するための試みとして無降水期間について検討した。まず、検討する無降水期間を次の3種類に定義した。

無降水期間が5日以上10日未満続く場合	定義 A
無降水期間が10日以上15日未満続く場合	定義 B
無降水期間が15日以上続く場合	定義 C

この定義に従って、通年で発生する無降水期間の回数を抽出し、その数を4. (1)で後述する4つの期間について、地域ごとに比較した。ここで、無降水状態（以降では干天という）に関して定義を与えるため1)一日雨量が0mmの場合、2)一日雨量が1mm以下の場合、および3)一日雨量が5mm以下の場合について比較した。日本国内において、特に夏期の日蒸発量の平均値は4~7mm/dayである¹²⁾。この値を超えるinputがあった場合土壌に対する水分補給があったと見なされると考えると、厳密に0mm/dayを無降水とする必要はない。農業気象用語解説集¹³⁾によれば「日降水量3mm以下の日を連続干天日数に算入する」としている。また、日降水量に階級を与え、整理する例もある¹⁴⁾。本研究では、より干ばつの発生に寄与するような乾燥干天の動態に着目しているため、日降水量0mmの場合について解析を行い、その後日降水量1mmの場合、5mmとした場合について検討を行った。

(3) 作付面積資料(1966~1996)

本研究では天水栽培に近い主要穀類の一つである陸稲に注目した。干ばつによる農作物被害は、その他の風水害によるものに比べ広範囲にわたることが多い。そこで1966年~1996年分の干ばつ被害面積率を求めた。それは次式で表される。

$$\text{干ばつ被害面積率} = \text{干ばつ被害面積} / \text{総作付面積}$$

これをもとに近年の干ばつの概算的な評価を行った。図-1に水稲・陸稲・小麦それぞれの全国干ばつ被害面積率と全国年降水量を表したものを示す。この図から全国的被害面積率は作物によって異なる様子が示される。

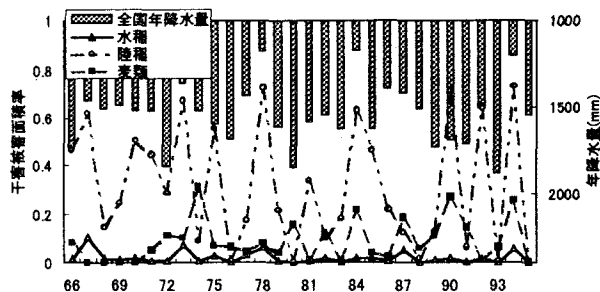


図-1 水稻・陸稲・麦類の干害被害面積率の年変化

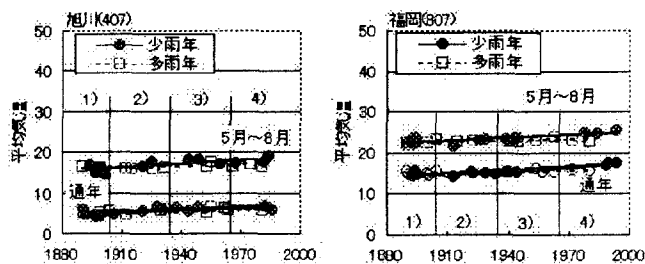


図-2 平均気温からみた多雨年・少雨年の傾向

表-1 5月～8月降水率による少雨年と作物別干ばつ年

被害作物	少雨の発生した地点番号
○ 1994 水稻・陸稲・小麦	807. 827. 887. 893. 742. 765. 636. 605.
1992 陸稲	605.
1990 陸稲・小麦	807.
1989	807. 582.
1988	409.
1987 水稻・小麦	
1986	407. 409.
1985	412.
○ 1984 陸稲	588. 585. 412. 407.
1983	893.
1982	412.
1981	827. 830.
1979	409.
○ 1978 水稻・陸稲	887. 742. 765. 662. 636.
1975	588.
1974 小麦	827. 887.
○ 1973 水稻・陸稲	830. 742. 605. 662. 636. 589. 595.

(但し地点番号はそれぞれ、407旭川、409網走、412札幌、582秋田、588山形、595福島、605金沢、636名古屋、662東京、765広島、807福岡、823鹿児島、830宮崎、887松山、893高知を示す)

それはすなわち干ばつ年は作物の種類によって異なるということを意味する。更に表-1は長期資料より5月から8月の降水率が0.5を割った年と地点を抽出し、干害被害記録と照らし合わせたものである。これより、例えば全国的に小麦の干害被害率が大きいうとき、四国・九州地方に干ばつが発生していることが多い。陸稲の被害のみが大きく現れる年は北海道、東北地方での干ばつが影響することこの表より読みとれる。

4. 長期資料からみた多雨年・少雨年の特徴

(1) 平均気温の100年変化

5月～8月降水量の多少の長期的な変動の様子を把握するために、長期気象資料より算出した年降水量および5月～8月総雨量を、1) 1900年、2) 1901～1930年、3) 1931～1960年、4) 1961～1998年に区分した。そしてそれぞれの年降水量から区分した期間内について、降水量の少ない年から順に3年ずつ抽出し「少雨年」とした。

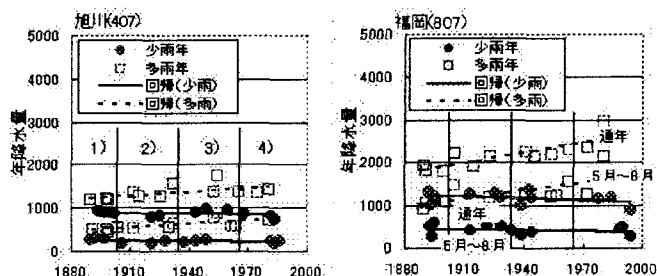


図-3 年降水量からみた多雨年・少雨年の傾向

そしてそれらの年の平均気温を比較した。同様に、降水量の多い年から順に3年ずつ抽出し「多雨年」とした。図-2, 3に結果を示す。それぞれかっこ内の数字は区分期間を示す。この期間は気象庁で扱う平年値の計算に必要な統計量として30年を要することを目安に決定した。

ここで、年降水量と5月～8月降水量の少雨年、多雨年はかならずしも同じ年であるとは限らない。図-2に事例として福岡(807)と旭川(407)の結果を示す。カッコ内の数字は地点番号を表す。どちらの地点においても全体的に年平均気温・5月～8月平均気温が上昇している様子がみられる。また少雨年における平均気温の上昇が多雨年よりも大きく、例えば福岡では1895年から1995年の約100年の間に上昇した少雨年の年平均気温の回帰推定値は2.8℃、5月～8月平均気温は2.6℃であった。それに対して多雨年はそれぞれ0.8℃、1.0℃の上昇に留まった。一方で旭川(407)での少雨年における年平均気温の回帰推定値は1.4℃、5月～8月平均気温は3.1℃、多雨年においてはそれぞれ1.5℃、1.2℃であった。

(2) 年降水量の100年変化

さらに同じ操作を降水量に対して行った。結果を図-3に示す。両地点において、多雨年の年降水量は100年の間に増加しており、それぞれの回帰直線から得られた1985年から1995年にかけての変化量は旭川では280mm、福岡では814mmとなった。5月～8月総雨量の増加量もそれぞれ289mm、642mmとなった。これに対して少雨年で年降水量の変化量は旭川で46mm、福岡で74mmとなり、多雨年における増加量に比較的近い値を示した。一方で5月～8月降水量の100年変化量は減少し、旭川で-73mm、福岡で-157mmとなった。通年単位の少雨年降水量の変

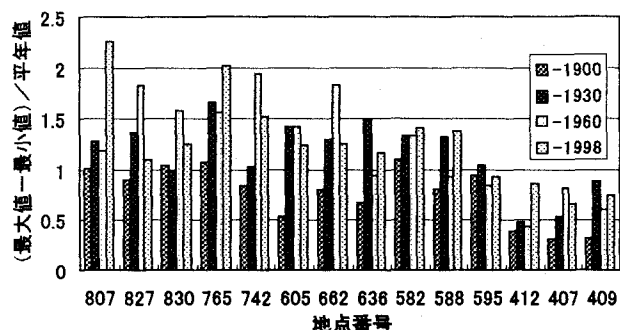


図-4 規格化した年降水量偏差の地域別・年代別比較
(各地点番号は表-1脚注を参照)

化量が多雨年のものよりも6分の1～11分の1に減少していることから、通年でみる変化量は少雨年の特徴を緩和しているという状況が考えられる。つまり空梅雨の度合いが年々ひどくなっているにもかかわらず、多雨年では秋期の台風や長雨などによって相殺されている様子が類推される。

つまり100年間の気候変動による影響は少雨年では5月～8月降水量がより減少する方向に、多雨年では年間を通じてより増加する方向に変動している様子がこのグラフからもうかがえる。

(3) 年降水量の空間的な比較

次に年降水量の変動の特徴を表現するために、先に4区分した各期間内の降水量の最大値と最小値との差を求め、それを平年値で除すことによって規格化した。それを地域ごとにまとめて棒グラフであらわしたものが図-4である。この図から、日本の西南地方へいくほど、最大値と最小値との差が大きくなっている様子が読みとれる。干害は常に降水が少ないからではなく、平年よりも異常に降水が少なくなることにより発生する。これらのグラフから、干害に見舞われやすい中国・四国・九州地方に比べ、関東以北ではこの偏差の年代による変動があまり見られず、比較的安定しているという傾向が表れているといえる。

(4) 干ばつ年の抽出

このうち5月～8月降水量によって選ばれた各地点ごとの少雨年を1961年以降について整理したものを表-1に示す。これに干害被害面積率(図-1)より水稻・陸稻・小麦の干ばつ年をまとめたものも同表に記した。これらの表から解析の対象とする干ばつ年として1994年、1984年、1978年および1973年を抽出した。この方法の特徴は、冬渇水型ではなく、夏渇水型、すなわち空梅雨の影響を強く受けている干ばつ年を抽出しているというところにある。

1994年は少雨の発生地点数が多くかつ水陸稻、小麦の干害年であることから被害が甚大であったという事実と

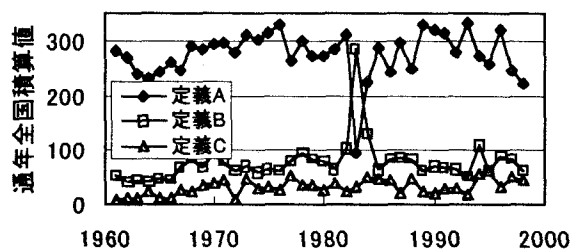


図-5 無降水期間発生回数の通年全国積算値

よく一致しているといえる。また1973年の干ばつは、北海道を除く本州以西で発生しており、小麦の主要な生産地である北海道が大きな被害をうけていない、という事象などが読みとれる。

以降ではこれらの干ばつ年に注目し少雨年の代表的な場合として平常年、多雨年との比較検討を行った。

5. 日降水量資料による無降水期間の解析

(1) 干天発生回数と積算値

干天の定義を1日の雨量が0mmとした場合の、日降水量資料から得られた年間無降水期間の発生回数の全国積算値の経年変化を図-5に示す。ここで、ある区域内の2点以上において、定義A、定義B、定義Cを満たす干天日が重なっているときに1回と数える。これを全国151カ所の地点データを用い表-1に示す20地域に対して行った。このようにして得られた地域ごとの通年「干天発生回数」の合計値を、「干天積算値」とした。これは干天発生回数の全国的な傾向を示している。この図から、1990年以降、定義Aの干天数が全国的に減少傾向にあるということ、若干ではあるが定義Cの干天積算値が増加しているという様子が示されており、全国的には干天期間の増加傾向があるといえる。ここで1984年のみ定義Bの干天発生回数が非常に多くなっている。この年の天候の特徴として1)大寒冬・多雪、寒春、猛暑、秋の少雨、2)上陸台風なし、3)集中豪雨などの災害が比較的少なかった¹⁵⁾ことがあげられており異常気象の典型年であった。また短期間であるが広範囲にわたって干害が頻発しており、それらの影響が現れたと考えられる。

(2) 干天発生回数の標準化

前節で示した方法で数えた干天発生回数の異常性を検討するために、次式によって標準化を行った。

$$u = (a - \bar{a}) / s \quad (1)$$

ここでxは干天発生回数、 $\bar{a}$ はデータaの標本平均、sは標本標準偏差、uは(1)式によって標準化されたxをあらわす。以降では便宜的にuを干ばつ強度とする。

連続する干天日数が定義Aの場合、表-1によって区分

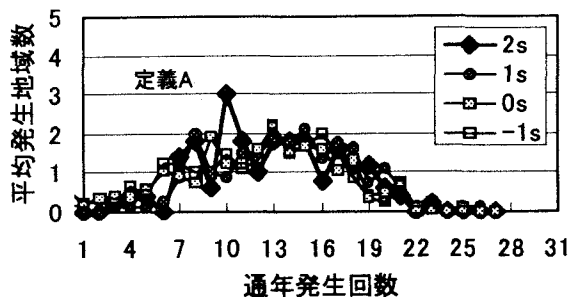


図-6 干ばつ強度 u が異なる場合の干ばつ年の特徴

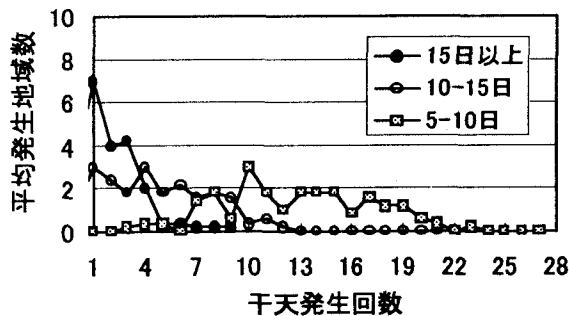


図-7 連続干天日数が異なる場合の干ばつ年の特徴
(全国, $u > 1.5$ の場合)

された地域内において各年ごとに得られた干天積算値について、1961年から38年間分の標本平均値 $\bar{a}$ と標本標準偏差 s を算出し、(1)式によってそれぞれの年の u を求めた。これを同様に定義 B、定義 Cについても行った。このようにして得られた干ばつ強度 u は

- $u > 1.5$ の場合 . . . 2s (強干ばつ年)
- $1.5 > u > 0.5$ の場合 . . . 1s (弱干ばつ年)
- $0.5 > u > -0.5$ の場合 . . . 0s (平常年)
- $-0.5 < u$ の場合 . . . -1s (多雨年)

のように分類した。先に抽出された干ばつ年(1994, 1984, 1978, 1973各年)はすべて $u > 1.5$ となった。また-1sに分類されたものは比較的または強度の多雨年によって構成された。0sは平常年であることを意味する。

(3) 連続干天日数からみた干ばつ年の特徴

まず連続干天日数が定義 Aの場合について、年ごとに全国20地域について「干天発生回数」を求める(手順1)。次にこれらを昇順に並べ替え、同じ数字の個数を数える(手順2)。これを前述した干ばつ強度の分類に従い、干ばつ強度ごとに4区分された各グループについて、手順2で数えた個数の平均値を求めた(手順3)。

手順3によって得られた平均値を、以降では「平均干天発生地域数」とよぶ。これは地域ごとに異なる干天発生回数の特徴の、該当年ごとに得られる全国的な傾向を意味する。言い換えると、例えば2sの干天発生回数が10回であるとき、平均干天発生地域数が2.5であればそれは、「全国的には強干ばつ年に10回の干天が2.5地域で

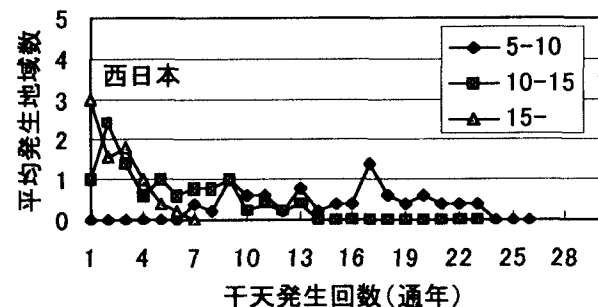
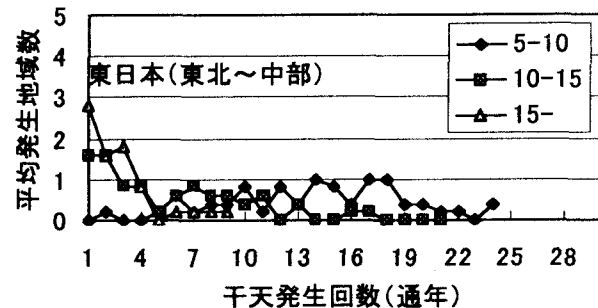
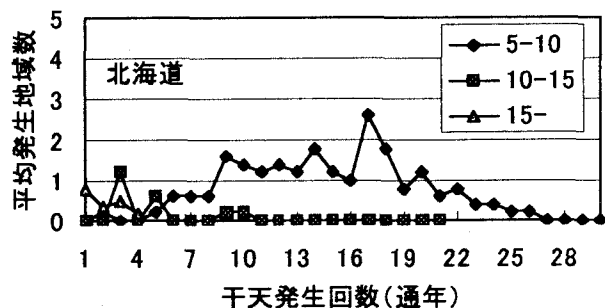


図-8 連続干天日数が異なる場合の干ばつ年の特徴
(北海道・東日本・西日本, $u > 1.5$)

起こる」ということになる。

同様の方法で、定義 B、定義 Cについても求めた。図-6に定義 Aについての結果を示す。

干ばつ強度 u は大きくなるほど干天積算値は大きくなる。しかし $u > 1.5$ (強干ばつ年: 凡例2s)の場合と $u < -0.5$ (多雨年: 凡例-1s)の場合を比較すると地域特性値に両者の差はあまりみられなかった。

そこで次に干ばつ強度 u が高い年の傾向をみるために、先に抽出した干ばつ年についての平均干天発生地域数の違いを比較した。結果を図-7に示す。15日以上続く干天の程度は評価されていないが、この図から、連続干天日数は長くなるほど発生回数は小さくなるが、のべ地域数は増えるという様子がみられた。

同様にして手順1での地域数を、北海道3地域、東日本9地域(東北～中部)、西日本8地域(近畿～九州南部)として整理した結果を図-8に示す。北海道では干ば

つ年の特徴として、5日以上10日未満の干天発生回数や平均干天発生地域数が多くなるのに対して、西日本では15日以上干天発生日数が増している様子がみられた。

天水栽培の場合、旬(10日)平均雨量が30mmという状態が続くことが作物に与えるダメージは小さくない。ここで抽出した干ばつ年はすべて空梅雨型であることから、2sが表す干天は主に夏期に起こるものを表している。これらのことから、無降水期間の発生日数も干ばつ年の傾向を表す有効な指標となりうるということが示されたといえる。

(4) 干天の定義を変えた場合

干天の定義を1日の降水量が1mm以下とした場合、5mm以下とした場合に干天日数の変化について、151地点におけるのべ日数の全国・38年平均値について検討を行った。通年でみると1日1mmとした場合の干天が連続するというイベントの発生回数は、干天期間が長くなるほど1日1mm以下と1日5mm以下の場合との差が大きくなった。

しかし干天日数の増加率は地域差はあるものの平均するとおよそ10%であった。それは1日5mmとした場合にはおよそ30%となった。4月～9月(夏期)と10月～3月(冬期)に分けてみても、それぞれの増加率は通年の場合とほぼ変わらなかったことから、1日1～5mm未満の降雨の発生に関する時期的な偏りはあまりみられないといえる。このことは、干天の定義を変えても連続干天の発生回数の地域的な傾向についての定性的な違いはあまり現れないということ意味する。

また、干天の定義が若干変化することの干ばつ評価への影響として、例えば小麦については、年間降水量が380mm～890mmの地帯に全作付の約75%が栽培されているという指標¹⁾を踏まえると、1日1mmから1日5mm降雨に変更することによって年間降水量にして約1440mmの差異が生じることになる。今後栽培地域を年降水量のみからおおよそ推定する場合にはこの影響を考慮しなければならない。

6. 結論

今回の解析によって次の結論が得られた。

- 1) 1990年代以降では5日以上10日未満の干天発生数は減少し、15日以上連続する干天の発生数が全国的に増加する傾向にある。
- 2) 全国的に見ると通年発生回数や平均干天発生地域数は、干ばつ強度 u の大小による影響をあまり反映していない。
- 3) 北海道での干ばつ年が5日以上10日未満の通年干天発生回数やその地域数が増加するタイプであるのに対して西日本では15日以上続く干天の発生回数が増

加している。

以上のことが干ばつ年の傾向として無降水期間に着目することによって試行錯誤的に示された。しかし、本方法による干天回数の数え方では、「ある地域内に含まれる数地点に対する干天回数」は示されるが、ある地域内のどの地点で起こったものなのか、を特定することができない。さらに干天期間が長期化すると、1日数mmの降雨によって1つの干天事象が分断されるということも考えられ、それらを含めた評価方法の検討については、実際には、無降雨期間は土壌水分量や作物の生育ステージごとの水要求量を介さないと干ばつ推定評価に結びつかないということを念頭においた上で今後の課題としたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり鈴木敏江さん(防災科研)のご助力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁(1989): 異常気象レポート, 気象庁
- 2) 気象庁(1999): 気象災害の統計, 気象庁
- 3) 清野裕(1995): 気候温暖化が我が国の穀物生産に及ぼす影響, 農業気象51(2), 131-138
- 4) 佐藤正一, 小沢行雄(1961): 農業と気候, 農業気象ハンドブック, 養賢堂
- 5) 坪井八十吉, 根本順吉(1973): 干害, 異常気象と農業, 朝倉書店
- 6) 河村武(1970): 中規模の気候区分, 地理15(7), 18-24
- 7) 久保祐雄(1961): 農業気象災害, 農業気象ハンドブック, 養賢堂
- 8) 大後美保(1976): 農業気象学通論, 養賢堂
- 9) 岩切敏(1993): 津市における降水量の永年変化と変動特性について, 農業気象49(3), 177-181
- 10) Renard, C(1984): Mechanismes d'adaptation a la secheresse chez le riz pluvial(天水栽培のイネの乾燥への適応): Crop water requirements, Conference international, Paris, INRA, 173-178
- 11) 江口久夫(1984): 1. 小麦 2. 大麦, 農作物生育環境指標総集, 第2集 気象環境, (財)日本土壌協会, 1-8
- 12) 金子良(1973): 農業水文学, 共立出版
- 13) 日本農業気象学会編(1974): 農業気象の実用技術, 413, 養賢堂
- 14) 日本農業気象用語編集委員会(1986): 農業気象用語解説集, 日本農業気象学会245-246
- 15) 気象庁(1984): 農業気象年報, 気象庁

(2000. 10. 2受付)