予想される気候の揺らぎのもとでの 日本・韓国地域の水稲生産量変動の予測

林 陽生*・鳥谷 均*・後藤慎吉*・菅野洋光**
鄭 英祥***・黄 水鎮****・金 海東*****

(* 農業環境技術研究所
** 東北農業試験場基盤研究部
*** 韓国江原大学校農業生命科学大学
**** 釜山大学校師範大学
***** 啓明大学校環境科学大学)

Projection of Paddy Rice Production in the Extent of Japan and Korea under Possible Fluctuation in Climate

Yousay HAYASHI*, Hitoshi TORITANI*, Shinkichi GOTO*, Hiromitsu KANNO**,
Yeongsang JUNG***, Soojing HWANG**** and Haedong KIM*****

(* National Institute of Agro-Environmental Sciences, 3-1-1, Kannondai,
Tsukuba, Ibaraki, 305-8604 Japan
** Tohoku National Agricultural Experiment Station, 4, Akahira,
Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate, 020-0198 Japan
*** Kangwon National University, Chuncheon, 200-701 Korea
**** Pusan National University, Jangjeun-dong, Geumjeung-gu,
Pusan, 609-735 Korea
***** Keimyung University, Shindang-dong, Dalseo-gu, Taegu, 704-701 Korea)

Abstract

Agricultural activities and crop production will be affected if and when climate deviates from the normal. In the eastern part of Asia, i.e. the region including Japan and Korea, effects of climate variations on the yield of paddy rice were demonstrated dramatically by a climatic regime known as a Blocking High. In 1993 the Tohoku district of Japan and Korea were affected by a severely low temperature anomaly ranging from -2.8°C to -3.7°C in monthly averages. This caused reductions of rice yield of -45% and -9% in the Tohoku district and Korea respectively. The spatial distribution of the yield anomaly indicated that a cold current derived from the Okhotsk High simultaneously attacked the east part of both countries. This event showed that a similar depression in rice production should appear in both countries when cool summers occur. Fortunately, these negative anomalies were balanced by high production in the hot summer of 1994.

To project the influence of the temperature anomaly on the production of paddy rice, correlation analyses were carried out. A curve, $\Delta Y = -0.89 \times \exp(-0.34 \times \Delta T) + 1$, was obtained with $r = 0.698$. Here, ΔY is the anomaly of rice yield, ΔT is that of averaged temperature through July to September. Using this relationship, changes of rice production were projected against temperature anomaly and ranged from $+13\%$ with $\Delta T = +3^{\circ}\text{C}$ to -39% with $\Delta T = -3^{\circ}\text{C}$.

Variations of paddy rice production, over the regions of Tohoku district and Korea, coincided with a penetration of cold-NE-current into their eastern zones along the coast. This event will trigger a food problem in East Asia under possible fluctuations of summer temperature. In addition, arable

lands have been devastated and population will grow up to 1.5 times the present population by the middle of the next century. Evaluation of the vulnerability of agriculture in East Asia, where paddy rice is a main crop, will be an important subject for scientists and for policy makers.

Key words: Food problem, Climate system, Paddy rice, East Asia, Vulnerability.

キーワード: 食糧問題, 気候システム, 水稲, 東アジア, 脆弱性

1. ま え が き

我々が近い将来に直面すると予想される問題のなかで、最も重要なものの一つは食糧問題であろう。この問題が不可避的かつ緊急に解決すべきと考えられる背景には、特に近年異常気象が多発する傾向にあり、農業に少なからぬ影響を及ぼしていること、人口の増加と土地利用の変化による実質的な耕地面積の減少によって、今後は現在以上の食糧増産の必要性が指摘されていることがあげられる。

従来、農業技術の開発によって水稲収穫量は増大したが、その一方で異常気象の影響を受けにくい時期や地域を軽視した栽培や、画一化された栽培が広く行われるに至り、農業が気象災害を被る機会はむしろ増大する傾向にある。この点が、地球環境変動に対して農業のもつ脆弱性の一面といえる。

気候変動の影響評価に関する成果の集約と研究推進方向の提示が、1990年以来 IPCC (気候変動に関する政府間パネル) を中核として行われてきた。最近では、これまでに研究対象となってきた地球規模の現象に加え、地域スケールの現象の理解が重要であることが指摘されている (IPCC, 1998)。これは、次の実態からも示唆される。すなわち Hansen and Lebedeff (1987), Vinnikov *et al.* (1990), Jones (1994), 気象庁編 (1995) ほかの研究および報告書によると、全球平均の年平均気温はこの 100 年間に 0.6°C 上昇したが、大陸や地域別にみると地域的な特徴が明瞭に現われ、最も気温上昇の規模が大きいのは北アジアで $1.0^{\circ}\text{C}/100$ 年であることが報告されている。これに対して、気温上昇規模が小さかった地域の一つは南アフリカ ($0.2^{\circ}\text{C}/100$ 年) であった。

本研究の対象地域は日本列島および韓半島周辺である。東アジア地域の気候を特徴づける気候システムの変動に注目し、水稲収量変動の地域性および気温偏差が収量に及ぼす影響を明らかにする点が目的である。

日本と韓国における水稲播種面積は、1996 年の時点で耕地面積に対してそれぞれ 51% および 45% と高い割合を占め、米はこの地域の代表的な穀物である。また、近年における日本と韓国の水田灌漑面積率は 86% から

99% と高く (IRRI, 1995), 両国とも最も灌漑設備が整備されているグループに属している。従って日本と韓国の水稲栽培では、基本的に干ばつには強いが冷害を被る可能性が大きいという共通した特徴がある。また日本と韓国は、地理的に隣接するばかりでなく文化的にも共通の特徴をもつため、固有の地域として取り扱うことが合理的と考えられる。

2. 解析対象地域と解析方法

主に利用したデータは、科学技術庁振興調整費国際共同研究「日韓における水稲収量変動の特性解明と変動予測」(1996 年～1998 年度) にて作成した、水稲収量 (日本・韓国) と気象 (韓国) に関するデータベースである。収量のデータは、日本の場合には都道府県別、韓国の場合は道別とし、対象とした期間は 1969 年～1996 年 (28 年間) である。

データベースに納めた気象観測地点毎の累年気象観測データを用いて、韓国における月平均気温の平年値を求めた。韓国内には 70 地点余りの気象観測点があるが、これらのなかからほぼ均等に分布する 16 地点を選び、各地点の月平均気温を月別に平均し、韓国を代表する月平均気温とした。地点によって観測を開始した年次が異なるため、平年値の統計期間は最もデータがそろった 1976 年～1995 年 (20 年間) とした。Fig. 1 に平均値算出に利用した地点 (図中●の地点、数値は気象通報コード番号) を示す。

本論では韓半島と日本の東北地方にほぼ同時に発現する気象が水稲収量へ及ぼす影響について解析するが、ここで必要な日本の東北地方 (青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県) を代表する月平均気温の平年値は、気象庁年報 (気象庁, 1970～1995 の各年版) に収録されている 12 地点 (大船渡、新庄、若松、青森、八戸、秋田、盛岡、宮古、酒井、山形、仙台、石巻) の気象官署における観測値を用いて求めた。

3. 水稲収量の経年変化

1969 年～1996 年の日本と韓国における水稲 (玄米) の収量変動を Fig. 2 に示す。栽培技術の高度化や多収性品種の普及などで、水稲収量は年々増大してきた。

Fig. 1. Observation points used in the calculation for climatic values over Korea. Numbers put on the head of the name of observatory indicate location code in Korea.

Fig. 2. Changes of the rice yields in Japan and Korea.

1970年代の後半までは両国の収量に 0.8 t/ha 程度の差があるが、その後の20年間の平均収量をみると、日本の場合には 4.5 t/ha 、韓国の場合には 4.2 t/ha であり大きな差は無い。また、年々の伸び率はそれぞれ 2.6% と 3.2% であり、平均収量の少ない韓国でわずかに伸び率が大きい。

このような水稲収量の長期間の変化傾向と同時に、年々の変動も明瞭に現れている。両国の収量は、特に1980年と1993年に大きく減少した。これらの現象は、冷夏による水稲冷害の影響であることが指摘されている（日本農業気象学会，1994）。詳細にみると、韓国では1980年の収量が解析期間中の最少（ 2.74 t/ha ）である一方、日本では1993年に最少（ 3.67 t/ha ）となった。韓国で1980年の水稲収量が激減した理由として、耐冷性の弱い品種が全国的に栽培されていた点が指摘されている。その後韓国では冷害に強い品種の改良が行われ、農家への普及が進んだため、1993年の被害は相対的に軽度で済んだ（坪井，1983）。これに対して、日本では1993年の収量減少が顕著に現れた。

1980年と1993年の低温・寡照とは対照的に、1994年の夏は高温・多照となった。果樹や畑作物に干ばつの被害が現れたが、一般に水田灌漑が完備している日本と韓国では干ばつの影響は小さく、むしろ広域的にみると高温・多照条件によって生育が促進され収量が増大した。

4. 1993年と1994年の特徴

4.1 収量の地域分布

1993年の冷害による収量減少と、これと対照的に高温・多照により増収がもたらされた1994年の水稲収量の分布は、東アジアにおける将来の水稲収量変動を予測するうえで貴重な材料である。

日本と韓国における1993年の水稲収量分布を Fig. 3 に示す。1985年から1994年の10年間の平均収量を平年値として、この平均値に対する1993年の収量偏差の割合（%）を4段階に分けて示した。影の濃い地域が減収の割合が大きい地域、すなわち冷害の程度が顕著であった地域を示す。北海道については統計値の代表性が他の都府県と異なるので、収量分布の地域性を考える際には注意が必要である。いずれにしても、東北地方の青森県（ -69.7% ）、岩手県（ -67.6% ）、宮城県（ -60.3% ）、福島県（ -35.6% ）といった、主に太平洋側の地帯と、韓半島の東海（日本海）側に位置する江原道（ -22.5% ）と慶尚北道（ -20.5% ）で減収の割合が増大した。

1994年について同様の方法で作成した分布図を Fig.

Fig. 3. Distribution of the ratio (%) of the yield anomaly in 1993.

4に示す。全般的にみると、限られた地域（韓半島の中西部の忠清北道，忠清南道，全羅北道および済州道）を除き平年以上の収量となった。日本の東北地方と韓半島を対比すると，1993年とは逆の東西コントラストが現れ，脊梁山地の東側で増収の割合が大きくなった。

このような脊梁山地の東西での対照的な収量分布の経年変化をみるため，東北地方の太平洋側の2県（岩手県，宮城県）と日本海側の2県（秋田県，山形県），および韓国中北部の東海（日本海）側の2道（江原道，慶尚北道）と黄海側の2道（京畿道，忠清南道）に区分し，各地域別の1970年～1994年の平均水稲収量の経年変化をFig. 5に示す。この25年間の統計によると，東西の平均収量の差は，日本の東北地方では約0.9 t/ha，韓国では約1.2 t/haとなり，一般に脊梁山地の西側の地域で東側に比べ収量が多い特徴がある。また，両国の東側の地域では25年間の収量の変動係数が17%以上と大きい一方，西側では7%（東北地方）あるいは12%（韓半島）というように比較的小さい。同時に，1980年と1993年の顕著な冷夏年には東西の収量差が増大する特徴が現れた。

4.2 気温偏差の地域分布

1993年の6月から8月の期間の気象の特徴は以下の通りである。太平洋高気圧の勢力が極端に弱くオホーツク海高気圧が卓越し，日本列島と韓半島の周辺では低温・寡照となった。日本列島周辺では，4月から10月の期間に低温傾向が続かなかで，特に7月上旬から9月上旬にかけて東北地方の太平洋側で気温が著しく低下し，月平均で平年より3℃以上低くなった（気象庁，1994）。1994年は太平洋高気圧の張り出しが強く梅雨前線の活動が弱められ，5月上旬から10月中旬の長期間にわたり南西諸島以外の地域で月平均気温が1.0℃～1.5℃高くなった（気象庁，1996）。

水稲収量偏差の分布に強い影響を及ぼす気温偏差の東西分布の特徴を明らかにするため，日本の東北地方と韓国のそれぞれ東西側を代表する地点として，八戸（Hachinohe，東側）と秋田（Akita，西側）および江陵（Kangnung，東側）と水原（Suwon，西側）を選び，1993年と1994年の気温偏差の規模について整理した。主な水稲栽培期間である5月から10月の月平均気温の偏差と平年値をTable 1に示す。

1993年の5月から10月における月平均気温の

Fig. 4. Distribution of the ratio (%) of the yield anomaly in 1994.

Fig. 5. Changes of the rice yields within the areas sharing with east and west sides by mountain ranges in Tohoku district, Japan and the Korea.

偏差の平均値を比較すると、東側に位置する八戸（ -1.42°C ）と江陵（ -1.37°C ）で著しい低温となった。なかでも気温の負偏差が大きい月は7月と8月であり、特に7月には八戸と江陵でそれぞれ -3.4°C と -3.7°C に達した。これらの値を、両地点の西側に位置

する秋田および水原の気温偏差と比較するとそれぞれ 1.9°C と 2.4°C 高く、低温の程度は東側で極めて大きい状態となった。このような特徴的な気温偏差の分布が、Fig. 3に示した収量偏差分布に最も大きく効いていると考えられる。

Table 1 Monthly averages of the temperature anomalies in east and west of the mountain ranges of Tohoku, Japan, and Korea. The upper two represent the values in 1993 and in 1994, and the lower shows climatic averages.

Year	Country	Point	Location	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Mean
1993	Japan	Hachinohe	East	-0.4	-0.9	-3.4	-2.8	-0.4	-0.6	-1.42
		Akita	West	-0.7	-0.6	-1.5	-2.5	-0.4	-0.6	-1.05
	Korea	Kangnung	East	-0.8	-1.3	-3.7	-2.8	+0.8	-0.5	-1.37
		Suwon	West	+0.7	-0.4	-1.3	-2.3	+0.9	-0.5	-0.48
1994	Japan	Hachinohe	East	+2.0	0.0	+1.7	+2.6	+2.6	+1.5	+1.73
		Akita	West	+1.2	+0.1	+1.9	+2.5	+2.6	+2.1	+1.73
	Korea	Kangnung	East	+0.6	+0.6	+3.9	+2.7	+1.4	+0.5	+1.63
		Suwon	West	+1.1	+1.3	+4.2	+2.5	+0.8	+1.7	+1.93
Long term Average*	Japan	Hachinohe	East	12.9	15.9	19.9	22.4	18.3	12.3	17.0
		Akita	West	14.2	18.6	22.6	24.4	19.6	13.1	18.8
	Korea	Kangnung	East	17.7	20.6	24.1	24.5	19.8	14.9	20.3
		Suwon	West	16.6	21.0	24.5	25.1	19.9	13.1	20.0

* Japan: 1961-1990, Korea: 1976-1995.

一方 1994 年は各地点でいずれの月平均値も正偏差となり、6 カ月間の平均値には明瞭な東西差は現れなかった。月別にみると、八戸と秋田では 8 月と 9 月に +2.5°C 以上の高温となった。韓国の場合は 7 月と 8 月が高温となり、特に 7 月には東側の江陵で +3.9°C、西側の水原で +4.2°C と著しい高温となった。水稲収量分布 (Fig. 4) をみると、多くの地域で増収となるなかで韓半島の西側の地域では減収となった。これに関して Choi and Moon (1997) は、韓半島の脊梁山地の西側ではしばしばフェーンが発生することを指摘している。これらの点から、1994 年の夏季の気象は、脊梁山地の東側の地域で例年に比べ好条件であったのに対して、西側の地域ではフェーン現象による高温・乾燥が発生して水稲の生育に何らかの障害が現れたと考えられる。

4.3 オホーツク海高気圧の役割

坪井 (1981, 1983) は韓半島における 1980 年の冷害について、オホーツク海高気圧の低緯度への張り出しに注目した解析をおこない、日本と韓国で同時に冷害が発生する危険性について論じている。また最近、山川 (1995), Kawamura *et al.* (1998), 植田・安成 (1998) らにより東アジア周辺の気候循環場と気候システムの解明・理解が進み、特異的な年である 1993 年と 1994 年の気候の発現メカニズムが明らかにされつつある。そのなかで低緯度の対流活動とモンスーン西風気流が季節の進行に大きな役割を果たすこと、またオホーツク海高気圧などの中緯度の現象が日本周辺の年々の気候に大きな影響を及ぼす点が指摘されている。

工藤 (1984) は、典型的なヤマセに関する研究のなかで、地上天気図の等圧線分布の時間変化をもとに、オホーツク海高気圧から東海 (日本海) の大陸側と日本の

三陸沿岸に沿って高圧域が南下する様子を図示した。その後木村 (1995) は、1993 年の総観気象を解析し、オホーツク海から南下する低温域が日本列島をはさんだ東海 (日本海) 側と太平洋側へ広く分布して (Fig. 6), それが冷夏時の地上気圧配置を強く特徴づけることを示した。また, Kanno (1997) はヤマセ時の大気鉛直構造に基づいた統計解析を行ない、高気圧がオホーツク海上に位置する気圧配置によって三陸沿岸地域に低温がもたらされることを統計的に明らかにした。

これらの研究から、東アジアの気候システムの変動・消長と、日本列島および韓半島の水稲収量変動とは密接に関係することが示される。特に Fig. 3 に示した水稲収量偏差分布の東西コントラストは、オホーツク海周辺に起源をもつ寒気の南下と大地形との関係に依存して発現したと考えることができる。

5. 収量偏差と気温偏差の関係

これまでの解析の結果、日本の東北地方と韓半島周辺では、寒冷な北東気流の消長に注目することで水稲収量変動の量的な予測が可能になることが期待できる。そこで、水稲生育と密接に関係する 7 月から 9 月 (3 カ月間) の平均気温の偏差を求めて収量偏差との比較を行った。

ここで、気温偏差は第 2 章で述べた方法で求め、収量偏差については、東北地方の場合は 5 県 (青森県, 岩手県, 秋田県, 宮城県, 山形県; 以降, 東北 5 県と呼ぶ) の合計収量を基にし、韓国は済州道を除く 8 道 (以降, 韓国 8 道と呼ぶ) の合計収量を基にした。東北地方と韓半島を対峙して比較する際に、地理的なまとまりを重視するため、解析対象から福島県を除いた。収量偏差の算出に当たっては、あらかじめ固有の長期トレンドを表す回

GANAL: surface temp. and wind at 06Z, August 5 1993

GrADS: COLA/UMCP

10

Fig. 6. Composite map of the distributions of surface air temperature and wind vector over East Asia. (from Kimura, 1995)

帰式を求めた後に、毎年の収量と回帰式で得た推定値との差を求めた。東北 5 県の収量 (Y_T) および韓国 8 道の収量 (Y_K) の長期トレンドを表す回帰式は次式で示される。ここで、 N は西暦年号を表し、収量の単位は t/ha である。

$$Y_T = -0.0026 \cdot N + 10.294 \quad (1)$$

$$Y_K = 0.0479 \cdot N - 90.682 \quad (2)$$

気温偏差と収量偏差の関係を Fig. 7 に示す。東北 5 県と韓国 8 道の 3 カ月間の平均気温の平年値はそれぞれ 21.2°C と 23.5°C 、収量の平年値 $5.20 t/ha$ と $4.18 t/ha$ である。収量偏差と気温偏差の間には両地域共通の明瞭な相関関係が認められる。負偏差側で分散が大きくなる傾向があるが、両地域をまとめた回帰曲線の相関係数は $r=0.698$ となり、信頼係数 $\varepsilon=0.98$ で次に示す有意な関係が認められた。すなわち、収量偏差を ΔY 、気温偏差を ΔT とすると、回帰式は次式で示される。

$$\Delta Y = (-0.889) \exp(-0.358 \times \Delta T) + 1 \quad (3)$$

この関係は、7 月～9 月の平均気温が $\pm 1^\circ\text{C}$ 変化すると両地域で収量偏差が生じその結果約 $\pm 7\%$ 収獲量が変動

Fig. 7. Relation between anomalies of the air temperature and the yield in Tohoku district, Japan, and Korea.

すること、負偏差の規模が大きくなると収量が急激に減少する傾向があることを示している。式 (3) の適用範囲は、ほぼ $-1.5^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 2.5^\circ\text{C}$ と考えることができる

Table 2 Predicted change (anomaly in %) of the rice production with the temperature variations from the normal.

Anomaly of temperature (°C)	-3	-2	-1	+1	+2	+3
Anomaly of rice production (%)						
1 Tohoku (5-pref.)+Korea (8-pref.)	-38.6	-20.9	-8.6	6.0	10.2	13.2
2 Japan+Korea	-18.5	-10.0	-4.1	2.8	4.8	6.2

Category-1 represents the total area of Tohoku region covering 5 prefectures (Aomori, Iwate, Akita, Miyagi and Yamagata) and Korean peninsula including 8 prefectures (Kangwon, Chungbuk, Chungnam, Kyonggi, Kyongbuk, Kyongnum, Cholibuk and Chollnam).

Category-2 represents the whole area of both countries.

だろう。

6. 収穫量変動の予測

主にオホーツク海高気圧の消長によって発現する気温変動が、日本および韓国の水稲収穫量にどのような影響を及ぼすであろうか。この点について考える場合、日本の関東以西では、東北地方や韓半島地域と異なる気候システムの影響を受けて気温偏差が生じ、水稲収穫量の変動が起る点を考慮する必要がある。従って、日本と韓国の全域で同一の要因のもとで影響が及ぶと考えることは合理的でない。そこで、日本の東北地方と韓半島では前章に示した関係式により気温偏差に応じた収穫量変動がおこる一方、日本の関東以西の地域では影響を受けず収穫量は平年値に等しく、北海道では東北地方の収穫量変動に比例した規模の変動が生じるという仮定で以下の考察を行った。

ここでは、最近の作付面積および収量のレベルを基準とし、気温偏差の規模に対する収穫量変動の割合を推定することとする。この場合の条件は、東北5県の水稲作付面積は416,000 ha (1997年)で収量は5.5 t/haであり、北海道を除いた日本全国の総作付面積の22.8%を占めるとした。また、韓国の作付面積は1,050,000 ha (1997年)で収量は5.0 t/haであり、加えて済州道の作付面積は韓国全域の作付面積の0.02%以下であることから、韓半島8道の収穫量をもって韓国の総収穫量としてもほとんど誤差は生じないとした。

水稲収穫量の変動を推定する手順は次の通りである。はじめに式(3)を用いて、与えられた気温偏差に応じた東北地方と韓国の収量偏差を求める。この収量偏差から両地域の収量が個別に得られる。これらの値と、すでに示した最近(1997年)の水稲作付面積との積から、両地域の収穫量の変動量が求まる。次に、日本全国の水稲収穫量変動の推定の場合には、東北5県と北海道を除く日本国内の作付面積の比をもとに、気温偏差の影響を受ける東北5県の収穫量とその影響のない西南日本を中心とした地域の収穫量を求める。さらに、北海道の収穫量

(P_H ; 単位 t) については東北5県の収穫量(P_T ; 単位 t)との比例関係、 $P_H = 0.350 \times P_T - 109832$, $r = 0.819$, を用いて気温偏差に応じた収穫量変動を求め、積算値を日本全域の収穫量とする。

夏季3カ月間(7月~9月)の気温偏差の規模と収穫量の変化の割合の関係をTable 2に示す。表の上段(カテゴリー1)は、対象地域を日本の東北地方と韓国に限った場合における合計収穫量の変化の割合を示す。表の下段(カテゴリー2)は、関東以西および北海道を含めた日本全域と韓国の合計収穫量の変化の割合を示す。東北地方と韓半島の合計の場合、最近の平年収穫量、約7,500,000 t、に対し気温偏差が+1°Cでは6.0%増加し、-1°Cでは8.6%減少することが予測される。偏差の規模が増大すると、収穫量変化の割合も増大する。これに対して、日本と韓国全域の合計収穫量の変化の割合は、気温偏差+1°Cで2.8%の増加、-1°Cで4.0%減少することが予想される。また、1993年のように典型的な冷夏が発生した場合には、東北地方と韓国の合計ではほぼ20%、日本全国と韓国の合計ではほぼ10%収穫量が減少するものと予想される。

7. ま と め

国連が1998年2月に発表した世界人口の予測によると、出生率が中位のシナリオでは、2050年には94億人、2100年には104億人となる。研究対象とした日本と韓国の合計人口は、1995年時点で1.7億人で世界の約3%を占める。開発途上国以外は出生率が将来鈍化するので、日本と韓国では3%以下に抑えられると考えられるが、両国の総人口は来世紀中頃にはほぼ2.5億人と予想される。

来世紀の中頃において、現在の約1.5倍の人口を維持するためには、単純に考えると、穀物収量を1.5倍にするかあるいは耕地面積を1.5倍に拡大すればよい。果してそれらは可能だろうか。水稲収量についてみると、日本と韓国における最近20年間の収量増加率を両国の平均値である2.9%/年とすると、50年で約150%の増加

が見込まれる。この数値は、ちょうど人口増加に見合う値である。しかし一般には、収量増大の過程で、土壌の疲弊や病害虫の増加、多肥による地下水汚染など新たに解決しなければならない問題が生じることが指摘されている。

では、耕地面積の拡大についてはどうか。谷野 (1997) によると、日本人の食生活に必要な 1 人当たり耕地面積は、明治末期の 600 m² から最近では 1,400 m² に増加したという。ここでも単純な掛け算を行うと、来世紀中頃に日本と韓国で農地として利用されるべき総面積は 39 万 km² となり、これは現在の農地面積 7.3 万 km² の 5.3 倍である。両国を合計した国土面積は約 48 万 km² であるので、国土面積の 80% 以上が耕地化するという非現実的な状況を期待することに等しい。

比較的現実的な食糧生産シナリオは、収量増大と新しい耕地の確保を同時に進展させるものであろうが、より多収を可能にするためには、耐寒性や耐暑性を犠牲にして単一の多収性品種を選択し、広大な面積で栽培することになるだろう。この場合、新たに開墾される耕地は従来より栽培環境のうえで不利な地域であるに違いない。このようにして営まれる農業は、現在にも増して年々の気候変動に対して脆弱であろう。

本論では、固有の気候システムが卓越し東アジアを代表する水稲栽培地域である日本と韓国を対象に、夏季の気温偏差が水稲収穫量の變動に及ぼす影響を明らかにした。特に 7 月～9 月の平均気温偏差が -2℃ の場合には、日本と韓国を合計した水稲収穫量が約 10% 減少することを示した。この数値は、IPCC (1996) がまとめた地球温暖化時のアジアにおける穀物収量変動 (栽培面積の変化は考慮していないので、収穫量変動に等しい) の割合と比較すると、概して同程度の規模である。この点から、年々の気候の變動が水稲収穫量に及ぼす影響を明らかにする点が非常に重要であることがわかる。

また最近、世界食糧需給モデルを用いた食糧安全保障政策が議論されているが、そこでは連続して異常気象災害が発生する事態に対する検討が充分行われていない。気象の年平偏差の規模が拡大する傾向にあるなかで、いままで以上に動的な影響評価を行う必要があるだろう。

謝 辞

本研究を進める過程で、戸矢初美さんにデータ整理と解析をお願いした。ここに感謝の意を表します。また本研究は、科学技術振興調整費国際共同研究総合推進精度 (二国間型) 「日韓における水稲収量変動の地域性と周期性の要因解明」 (平成 8 年度～平成 10 年度、代表林 陽生) による成果の一部である。

引用文献

- Choi, S. and Moon, S., 1997: Climatological characteristics of the Nopsae Wind. *J. Meteorology, Korea*, **33**, 215–223.
- Hansen, J. and Lebedeff, S., 1987: Global trends of measured air temperature. *J. Geophys. Res.*, **92**, 13345–13372.
- IPCC, 1996: Climate change 1995—Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. IPCC Working Group II, Cambridge Univ. Press, 878 p.
- IPCC, 1998: The regional impacts of climatic change—An assessment of vulnerability. IPCC Working Group II, Cambridge Univ. Press, 517 p.
- IRRI, 1995: World rice statistics 1993–1994. IRRI, 260 p.
- Jones, P. D., 1994: Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *J. Clim.*, **7**, 1794–1802.
- Kanno, H., 1997: Classification of the Yamases (Cold Northeasterly Wind around Northeastern Japan) Based upon its air-mass vertical structures, *Jour. Meteorol. Soc. of Japan*, **75**, 1053–1071.
- Kawamura, R., Sugi, M., Kayahara, T. and Sato, N., 1998: Recent extraordinary cool and hot summers in East Asia simulated by an ensemble climate experiment. *Jour. Meteorol. Soc. of Japan*, **76**, 597–617.
- 木村龍治, 1995: ヤマセの地球流体力学的側面, 気象研究ノート. 日本気象学会, 第 183 号, 91–105.
- 気象庁, 1994: 平成 5 年冷夏・長雨調査報告. 気象庁技術報告, 第 115 号, 気象庁, 231 pp.
- 気象庁編, 1995: 地球温暖化監視レポート 1994. 気象庁, 138 pp.
- 気象庁, 1996: 平成 6 年 5 月上旬から 10 月中旬の少雨および高温に関する調査報告. 気象庁技術報告, 第 118 号, 249 pp.
- 工藤泰子, 1984: 典型的なヤマセ時のオホーツク海気団の特性. 天気, 日本気象学会, **31**, 411–419.
- 日本農業気象学会編, 1994: 平成の大凶作. 農林統計協会, 234 pp.
- 坪井八十二, 1981: 韓国の 1980 年冷害と今後の対策研究の方向. 農業気象, **37**, 127–133.
- 坪井八十二, 1983: 韓国の稲作と異常気象. 天気, **27**, 25–28.
- 植田宏昭・安成哲三, 1998: 西太平洋上の海洋性モンスーンの季節進行と日本付近の夏季天候との関係—1993 年冷夏・1994 年暑夏時の事例解析—. 天気, 日本気象学会, **45**, 199–215.
- Vinnikov, K. Y., Groisman, P. Y. and Lugina, K. M., 1990: Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). *Jour. Clim.*, **3**, 662–677.
- 谷野 陽, 1997: 人にはどれほどの土地がいるか. 農林統計協会, 171 pp.
- 山川修治, 1995: 北日本における夏季天候の前兆を示す指標について. 日本気象学会 1997 年春季大会講演予稿集, **71**, 117.