



Title	冷害時における水稲・大豆の収量予想と気温の関係について
Author(s)	堀口, 郁夫; HORIGUCHI, Ikuo
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 12(3), 222-229
Issue Date	1981-03-19
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/11953">https://hdl.handle.net/2115/11953</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	12(3)_p222-229.pdf



# 冷害時における水稲・大豆の収量予想と 気温の関係について

堀口 郁夫

(北海道大学農学部農業物理学講座)

(昭和55年8月22日受理)

## The Damage Forecast of Rice and Soybean Yield Caused by Cool Summer Temperature

Ikuo HORIGUCHI

(Laboratory of Agricultural Physics, Department of  
Agriculture, Hokkaido University)

### 緒 論

北海道・東北地方の食糧生産に大きな影響を与える自然災害は冷害である。冷害の被害高は大きく、一度冷害が発生すればわが国の米収は自給率を割ることになり<sup>1)</sup>、また被害が大きいため社会問題にまで発展する。しかも過去の歴史をみると冷害は一度発生すると継続して発生する傾向にあり、いわゆる冷害群を形成する<sup>2)</sup>。

一方、現在の夏期の気温は低温安定期といわれているが、今後冷害の発生危険がある変動期に移行することが予想されており<sup>3)</sup>、食糧生産への影響が心配される。

このような状況の中で今後の気温低下に対して、食糧生産がどのような影響をうけるか予測する必要がある。収量と気象要素との関係については、多くの人達が研究し、種々の収量予想式が計算されているが<sup>4~7)</sup>、これらの式は、特定の狭い地域の子想式であったり、短い期間の解析であったり、また非常に複雑な式を使用している場合が多く、北海道、東北などの広い地域の長期的見通しの使用には不適當である。もっと簡単に長期の食糧生産と冷害気象との関係について解析し、今後予想される冷害時の生産量を知る必要がある。そのため水稲・大豆について、公的に収量が発表された明治中期以降のデータを使用して、気温の影響を北海道・東北について調べた。

### 解析方法および結果

#### 1. 水 稲

近年、水稲に対する農業技術の進歩は著しく、北海道においては10アール当りの単位収量(以下単収)が500

kgをこえ、東北地方において600kgにせまろうとしている。しかし、水稲は熱帯原産のため、生育において温度依存度が高く、低温になるとその被害は著しく、冷害の被害の大部分が水稲によってしめられている。この水稲について、北海道・東北に分けて、気温との関係を調べた。

#### i) 北海道の米収と気温

北海道の米収の記録は、1886年(明治19年)から存在する。その10アール当り単収をFig. 1に示した。

北海道の米作の初期の1886~1894年(明治19~27年)頃までは、渡島水田時代といわれ、道南地方が米作の中心地帯であった時代で、ついで1894~1919年(明治27~大正8年)頃までは、中核地帯形成時代で道央に米作が

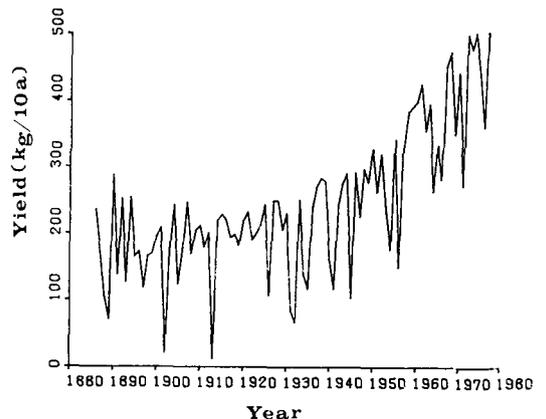


Fig. 1. Variation of 10-are yield of rice in Hokkaido.

発展した時代である。したがって解析の資料としては、ほぼ米作の現在の中心地帯が確立したと推定される1904年(明治37年)からの資料を使用することにした。

Fig. 1によると1930年代前半までは豊作年で、10アール当り単収が約220~230kg程度であったが、1940年代になると270~280kgになり、さらに1950年代後半からは急速に単収が増加し、1972年(昭和47年)にはついに500kgになった。このように豊作年の単収が増加したにもかかわらず、年によって冷害にみまわれ変動のばげしい様子を Fig. 1 は示しており、北海道の米作の不安定性をうかがわせている。

Fig. 1の単収の変動をみると、単収がまだ少ない1930・1940年代の、豊作年と冷害年の単収の差と、単収が400~500kgにもなった1960・1970年代の、豊作年と冷害年の単収の差がほぼ似かよった値であることに気付く。豊作年の単収は、その時代の技術で生産出来得た収量で、低温などが制限要因として大きく作用しなかった年であると考えられる。そこで豊作年(これを極大年と称する)を、1904, 1907, 1915, 1921, 1925, 1927, 1928, 1933, 1938, 1944, 1946, 1948, 1950, 1955, 1958, 1961, 1968, 1972, 1974, 1975, 1977年にとり、極大年とつぎの極大年の間を直線で結んだ。もし、極大年の翌年も極大年と同じ気象条件ならば、当然、前年と同じ量の単収が期待出来、しかも技術の向上分だけ増収になるはずである。そこで極大年とつぎの極大年まで、技術の進歩が直線的に増加すると仮定して、この技術の向上分の増収を計算すると、仮定の可能単収が計算出来る。しかし、実際には気温などが制限要因となり減収したと考えられ、この仮定の可能単収から実際の単収を引いた値を減収量として図に表わすと、Fig. 2のごとくなる。Fig. 2によると、当初考えたごとく、単収が200kg台の時代も、500kgに

なった時代もほぼ同じような減収量を示し、技術の向上による影響がなくなる。

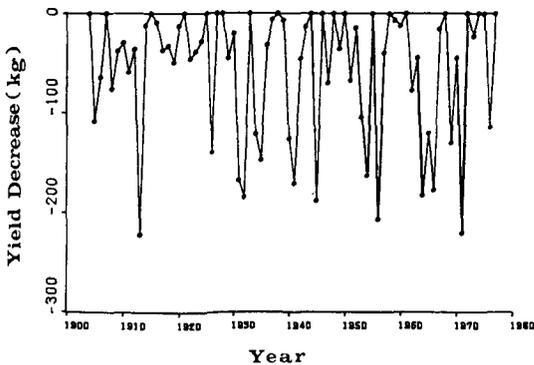
この減収量と気象要素との関係を調べてみた。気象要素として札幌の気温をとり相関係数、回帰直線式を計算し、その結果を Table 1 に示した。明らかに5月を除いて1%の有意性があり、とくに7月、8月の気温との相関が高い。7月、8月の相関が高いことは多くの人達の短期間の米収と気温との関係においても報告されており、減収量が単収のかわりに気温との相関を調べるのに利用出来ることを示している。最も相関係数が高い7月の気温と8・6・9月の重相関の計算は、かなり複雑な計算式になるため、7月の気温の重みを1.0とし、8月の気温の重みがいくらの時、7、8月の気温に対する相関係数が最大になるかを計算すると約0.8になる。このようにして6月9月の気温の重みを計算すると両月とも0.4になり、気温として(0.4×6月気温+1.0×7月気温+0.8×8月

**Table 1.** Correlation coefficient and regression formula between rice yield decrease in Hokkaido and monthly mean temperature

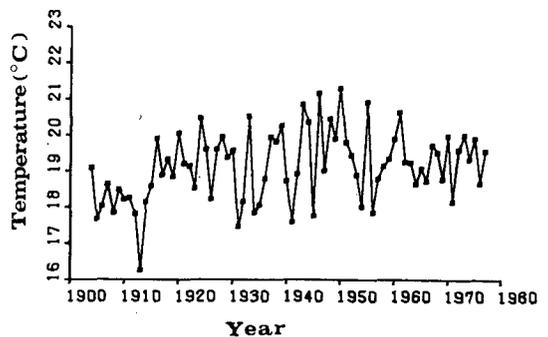
Month	Correlation	Regression formula
May	0.06	$Y = 3.26 X - 92.55$
June	0.42*	$Y = 26.19 X - 458.79$
July	0.61*	$Y = 27.26 X - 596.91$
August	0.55*	$Y = 27.94 X - 653.74$
September	0.34*	$Y = 22.81 X - 436.38$
$0.4 \times J_u + 1.0 \times J_y + 0.8 \times A + 0.4 \times S$	0.71*	$Y = 47.88 X - 972.39$

data: 1904-1977, temperature: Sapporo.

\*: 1% significant.



**Fig. 2.** Yield decrease based on good harvest year (Hokkaido).



**Fig. 3.** Variation of mean temperature.

$$(0.4 \times J_u + 1.0 \times J_y + 0.8 \times A + 0.4 \times S) \div (0.4 + 1.0 + 0.8 + 0.4)$$

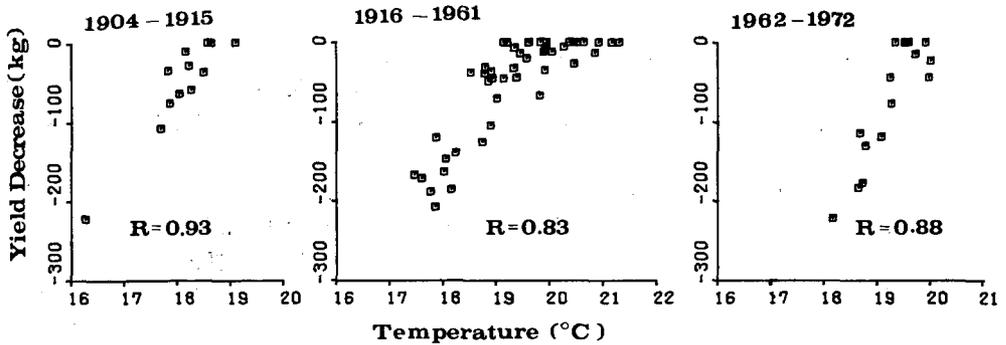


Fig. 4. Relationship between mean temperature and rice yield decrease in Hokkaido in each period.

気温 $+0.4 \times 9$ 月気温)の加重平均をとると相関係数が最大の0.71となる。Table 1 にこの時の相関係数と回帰直線式を示してある。

今、重みをつけた平均気温の経年変化を図示すると、Fig. 3 のごとく1904~1915年までの低温期、1916~1961年の変動期、1962~1977年の安定期の3期に分けることができる。したがって低温期に変動期に現われるような高温が現われれば、極大値が実際の単収より高くなる可能性がある。そのため3期に分けて気温との相関を調べてみた。結果をFig. 4に示す。明らかに1904~1915年は全般的に低温で、1962~1977年に比較して約 $1.0^{\circ}\text{C}$ 低い所に減収量が集中している。したがって、明治以降の北海道の最大の冷害年であった1913年(大正2年)の加重平均気温( $16.3^{\circ}\text{C}$ )を、そのまま1962~1977年の回帰式にあてはめると約440 kgの減収になる。また、現在の冷害時の気温は、1ヵ月・2ヵ月の長期間の平均気温ではFig. 3に示したごとく安定して強い低温は現われないうが、短期的には強い低温が現われる傾向にあり、1904~1915年頃の低温とは異なった現われ方をしている。そのため1913年(大正2年)の気温を1916~1961年のグラフにあてはめて気温の補正を行うと約300 kg程度の減収になることが予想出来る。

#### ii) 東北地方の米収と気温

東北地方の水稲についても北海道と同様な計算を行った。東北地方の水稲の単収は1884年(明治17年)から入手出来(Fig. 5)、極大年として、1886, 1887, 1890, 1892, 1894, 1901, 1904, 1909, 1914, 1920, 1925, 1930, 1933, 1939, 1952, 1955, 1960, 1967, 1970, 1975をとって減収量のグラフをかくとFig. 6のようになる。明らかに北海道の場合と比較して、冷害の回数も少なく、減収量の値も小さい。しかし、年により減収量にかなりのバラツキがある。この減収量と気温の相関を計算するとTable 2

に示したごとくなる。すなわち、8月の気温が最も相関が高く、ついで7月、9月、6月、5月の順で北海道の場合とは異なっており、また相関性も低い(但し気温

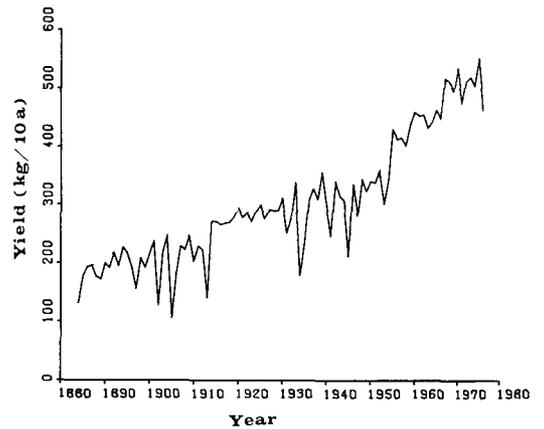


Fig. 5. Variation of 10-are yield of rice in Tohoku.

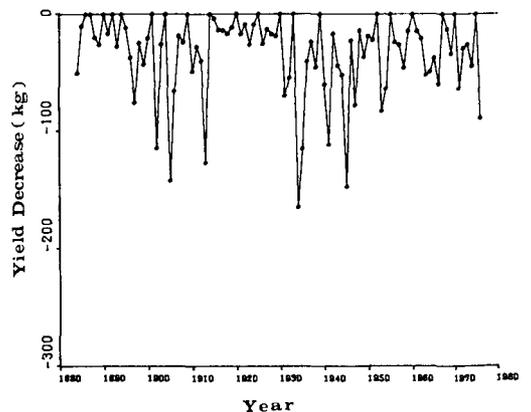


Fig. 6. Yield decrease based on good harvest year (Tohoku).

**Table 2.** Correlation coefficient and regression formula between rice yield decrease in Tohoku and monthly mean temperature.

Month	Correlation	Regression formula
May	0.11	$Y = 3.97 X - 87.35$
June	0.24	$Y = 7.66 X - 168.48$
July	0.47*	$Y = 11.57 X - 286.07$
August	0.52*	$Y = 15.79 X - 405.33$
September	0.32*	$Y = 10.19 X - 228.44$
$0.1 \times J_u + 0.6 \times J_y + 1.0 \times A + 0.5 \times S$	0.61*	$Y = 10.80 X - 551.55$

year: 1884-1976, temperature: mean of Aomori, Miyako, Ishinomaki, Fukushima, Akita and Yamagata.

\*: 1% significant.

は、青森、宮古、石巻、福島、秋田、山形の平均気温)。今、減収量との相関係数が最も大きくなる気温の重みを計算すると、Table 2 に示したごとく、6月が0.1、7月が0.6、8月が1.0、9月が0.5となりこの時の相関係数は0.61となる。重みをつけた気温の経年変化を調べると、1913年(大正2年)以前は1914年以降に比較して一般に低温傾向にあるため、1884~1913年と1914~1976年に分けて減収量と気温の関係を図示すると Fig. 7 のごとくに

なる。1913年以前の最大の冷害であった1905年(明治38年)の気温を1914~1976年のグラフにあてはめると約170 kg程度の減収になる。現在の豊作年の単収を560 kgとすると、1905年のような低温になると単収は約390 kg程度になることが予想出来る。

## 2. 大豆

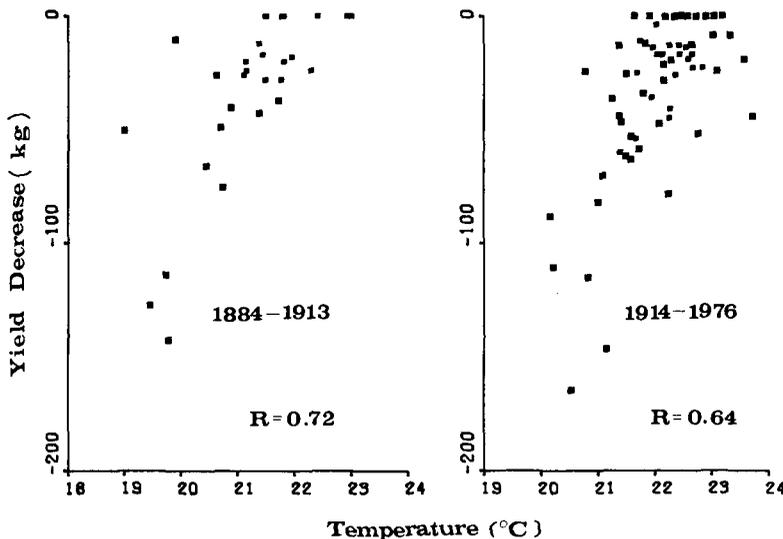
水稲について冷害の被害の著しいものは、豆類である。中でも大豆の公的収量の資料は1890年代から入手出来たため、大豆の冷害の影響を調べた。

### i) 北海道の大豆の生産と気温

北海道の大豆の単収の推移を Fig. 8 に示した。大豆の単収の増加は、水稲の場合と異なり著しくない。1950年代中ばよりわずかに単収の増加がみられる程度である。しかし、年ごとの単収の変動は著しく、度々冷害にみまわれていることがわかる。

今、水稲と同じような手法で豊作年を1892, 1894, 1900, 1914, 1925, 1930, 1933, 1937, 1943, 1950, 1955, 1961, 1967, 1973, 1975年にとって減収量のグラフをかくと Fig. 9 のごとくなり、さらに減収量と各月の相関を計算すると Table 3 のようになる。

Table 3 によると北海道の水稲の場合と同様に、7月が最も相関が高く、ついで8月、6月、9月、5月の順である(但し、気温は、札幌、旭川、帯広、網走の平均気温)。さらに気温の重みを計算すると、6月が0.3、7月が1.0、8月が0.6、9月が0.5となる。また、水稲の場合と同



**Fig. 7.** Relationship between mean temperature and rice yield decrease in Tohoku in each period.

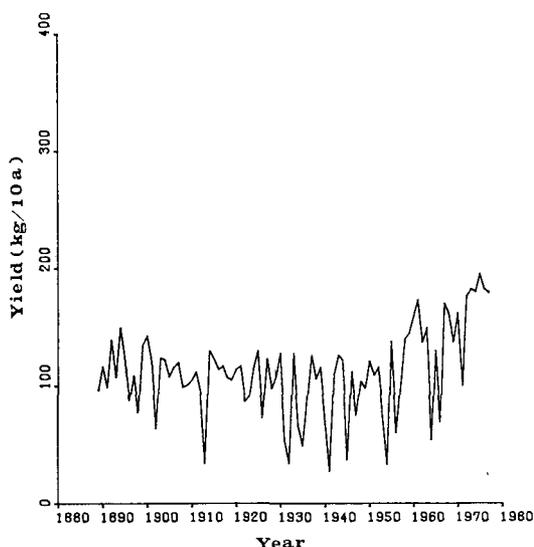


Fig. 8. Variation of 10-are yield of soybean in Hokkaido.

様に, 1889~1915年の低温期, 1916~1950年の変動期, 1956~1977年の安定期の3期に分けることが出来る。Fig. 10に示すごとく, それぞれの期間について相関を計算すると, かなり高い相関係数が得られ, 1913年(大正2年)の気温を現在にあてはめると, 約130kg程度の減収になることが明らかになる。現在の豊作年が約195kgであるから, 単収は65kgになることが予想出来る。

ii) 東北地方の大豆の生産と気温

東北地方の大豆の単収も北海道と同じように, 1894~

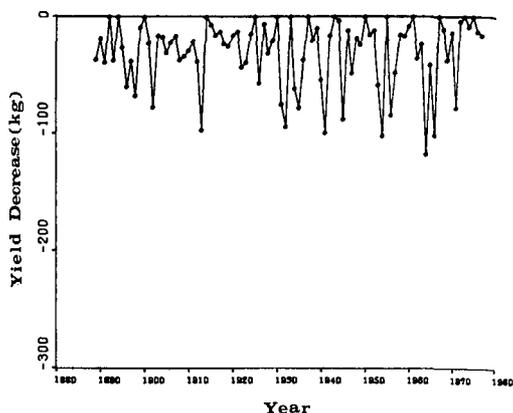


Fig. 9. Yield decrease based on good harvest year (soybean, Hokkaido).

Table 3. Correlation coefficient and regression formula between soybean yield decrease in Hokkaido and monthly mean temperature

Month	Correlation	Regression formula
May	0.14	$Y = 3.09 X - 61.69$
June	0.40*	$Y = 9.84 X - 171.64$
July	0.64*	$Y = 11.34 X - 242.93$
August	0.47*	$Y = 10.16 X - 236.40$
September	0.33*	$Y = 8.87 X - 170.20$
$0.3 \times Ju + 1.0 \times Jy + 0.6 \times A + 0.5 \times S$	0.71*	$Y = 8.43 X - 393.39$

year: 1889-1977, temperature: mean of Sapporo, Ashahikawa, Obihiro and Abashiri.  
\*: 1% significant.

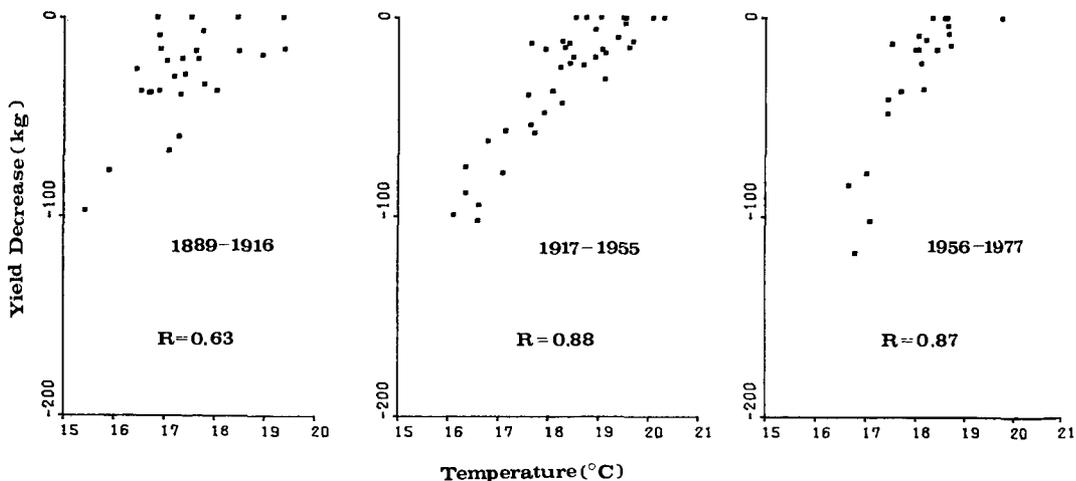


Fig. 10. Relationship between mean temperature and soybean yield in Hokkaido in each period.

1976年間の単収の増加はわずかであり、また、年による変動も北海道より小さい (Fig. 11)。

今、豊作年を、1894, 1901, 1909, 1917, 1919, 1925, 1927, 1930, 1933, 1939, 1952, 1955, 1956, 1963, 1967, 1972年にとり減収量を図示すると、Fig. 12のごとくになる。

Fig. 11・12 に示したごとく、1941~1945年の資料は戦争のため欠落しており、また、1946・1947年は極端な減収となっており、気温の影響の他に、終戦による人為的影響が大きいと思われる。減収量と気温との相関を計算すると Table 4のごとくになり、6月、7月、8月、5月、9月の順に相関が大きい、その値は小さく、6月以外は有意性 (1%) はない。各月の重みを計算すると、6月が1.0, 7月が0.6, 8月が0.5となり、さらに重みをかけ

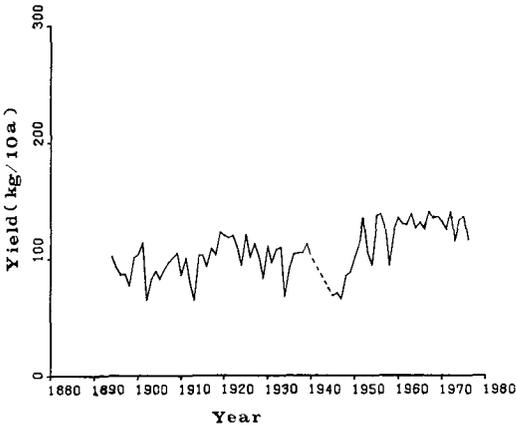


Fig. 11. Variation of 10-are yield of soybean in Tohoku.

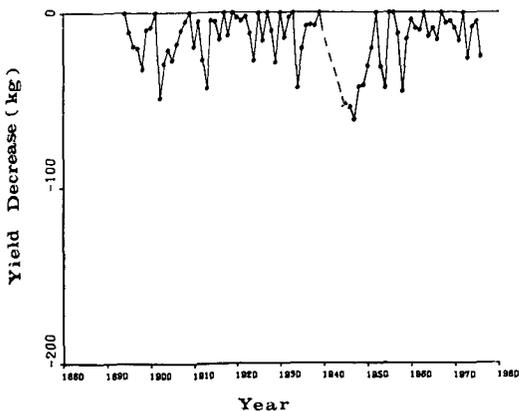


Fig. 12. Yield decrease based on good harvest year (soybean, Tohoku).

Table 4. Correlation coefficient and regression formula between soybean yield decrease in Tohoku and monthly mean temperature

Month	Correlation	Regression formula
May	0.19	$Y=3.31 X-60.81$
June	0.29*	$Y=4.49 X-95.05$
July	0.27*	$Y=3.00 X-81.11$
August	0.20	$Y=2.66 X-78.19$
September	0.13	$Y=2.05 X-54.67$
$1.0 \times J_u + 0.6 \times J_y + 0.5 \times A$	0.36*	$Y=3.10 X-147.59$

year: 1894-1976 (mis 1941-1945), temperature: mean of Aomori, Miyako, Ishinomaki, Fukushima, Akita and Yamagata.

\*: 1% significant.

た気温の経年変化は、年による変動があまりみられない。したがって、過去最大の減収量 (約 50 kg) を、現在の豊作年の単収 (約 140 kg) から直接差引くことが出来、その値は 90 kg 程度になる。すなわち、1905年 (明治 38年) のような低温が現在現われたら、東北の大豆の単収は約 90 kg 程度しか期待出来ないことになる。

### 考 察

以上の解析結果をまとめたものが Table 5 である。Table 5 によると、温度依存性の高い場合ほど相関関係が高く、正確に収量予想が出来る。すなわち大豆より水稲の方が気温との相関が高く、また、東北地方より気温の低い北海道の方が相関が高い。

解析結果は、豊作年の設定によって若干異なるが、この場合も、温度依存性が大きく減収量の変動が大きい場合ほど豊作年の設定による差は小さい。

解析を行った 1880年代から現在まで、品種改良や、栽培技術の進歩によって、品種の変化や栽培時期の変化がある。しかし、栽培品種が異なっても、作物が持っている温度に対する感受性にはあまり大きな違いがないことがこの研究の結果から明らかである。このことは他の人達によっても指摘されており、単収は増加しても冷害になる限界温度は、明治・大正時代も、現在も 7・8月の平均気温が 20°C 以下の場合であるとされている<sup>2,8)</sup>。また、時代による栽培時期の相違は、一か月間の平均気温を使用することで、資料のパラツキの中に入ってしまう。

Table 5 Comparison of correlation coefficient between Hokkaido and Tohoku

Month	Hokkaido		Tohoku	
	Rice	Soybean	Rice	Soybean
May	0.06	0.14	0.11	0.19
June	0.42**	0.40**	0.24*	0.29**
July	0.61**	0.64**	0.47**	0.27**
August	0.55**	0.47**	0.52**	0.20
September	0.34**	0.33**	0.32**	0.14
Multiple	0.69**	0.69**	0.58**	0.34**
Correlation	July & August	July & August	July & August	June & July
Correlation (weighted)	0.71**	0.71**	0.61**	0.36**

\*: 5% significant. \*\*: 1% significant.

### 結 語

北海道・東北地方の自然災害の被害は、冷害が大きな割合をしめ、冷害によって食糧生産高が左右される。冷害は当然、夏期に冷涼な気温が入ってくることによって起こるもので、高温を必要とする作物ほど被害が大きくなる。今後起こるであろう低温に対して、被害程度の予想を困難にしていることは、技術の進歩にとまらぬ増収である。現在の単収は、明治時代の単収の2倍以上にも達しており、さらに今後の技術の進歩による単収の増加を予測し、被害程度を予測しなければならぬという困難な問題がある。この論文にのべた被害の予測法は、豊作年を基準とした減収量を用いて計算するもので、今後単収が増加しても減収量は、温度変化に対して質的に変わらないという仮定のもとに使用出来る。

明治、大正、昭和を通じて、減収量と気温の関係に変化がなかったということは、今後の冷害対策に重大な意義があると思われる。すなわち、耐冷性品種の導入により低温時の収量は増加したが、同時に同じ割合で高温時の収量も増加しており、したがって冷害による被害感がいつも無くならない結果になっている。冷害を克服するためには、低温時と高温時の収量差を小さくする必要があり、耐冷性品種の導入のみでは冷害の克服にはならない。

### 引用文献

- 山本良三・他：自然災害より見たわが国の食糧自給の限界推定に関する研究，印刷中
- 横田廉一：北海道の気候と農業気象災害，p. 70-71，文永堂，1976
- 斎藤博英：気候変動と上川の米作，日本農業気象学会北海道支部大会講演要旨集，p. 47-57. 1980
- 大後美保：農業気象による豊凶予想法，p. 29-37. 資料社，1949.
- 北海道立農業試験場：北海道における冷害危険度の推定と今後の研究上の問題点，p. 15-44. 1962
- 藤原 忠・阿部博史：夏期気象要素と水稲大・小豆収量との重回帰解析のこころみ，北海道の農業気象，19：46-50. 1968
- 羽生寿郎・石黒忠之：北海道における気温条件と水稲収量の安定性，北海道の農業気象，21：47-51. 1970
- 札幌管区気象台：昭和44年暖候期の北海道における異常低温，日照不足，強霜について，p. 37. 1969

### Summary

Many investigators have reported a forecast of crop yield by using meteorological factors in Japan. However, these forecasts can only be adapted in a small land area and for a comparatively short period (because only recent data is used), and sometimes these are complicated regression formulas. So, we need the simple forecast of yield that can cover large land areas and long periods. For this the author studied the damage forecast of rice and soybean yield caused by cool summer temperature using long term data in Hokkaido and Tohoku.

The periods of data used are the following;

Hokkaido: rice 1904-1977  
soybean 1889-1977  
Tohoku : rice 1884-1976  
soybean 1894-1976

The variations of these crop yields are shown in Fig. 1, 5, 8 and 11. First, the hypothetical yields are calculated by a straight line drawn between each good harvest yield in the figure. And also, the yield decreases which are the differences between the hypothetical yields and the actual yields are calculated. The yield decreases based on good harvest years are shown in Fig. 2, 6, 9 and 12. It is recognized that the correlation between the yield decrease and the average temperature of each month is not affected by the development of agri-

icultural technic. Because of this, we can calculate the correlation coefficient by using yield decrease instead of crop yield.

The calculated correlation coefficients and regression formulas are shown in table 1, 2, 3 and 4. Moreover, the weights for temperatures (which express the maximum correlation coefficient) are calculated for multi-effect of each month. The correlation coefficients using weighted temperatures are shown to be good values and over 1% significant. When the periods are divided into 2 or 3 parts determined by the change of temperature inclination, these regression formulas express good forecasts.