

# 冷害気象と微気象調節

堀口 郁夫

## The Meteorology for Cool Summer Damage and its Micro-meteorological Control

Ikuo HORIGUCHI

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

### Abstract

In 1993 there were cool summer damages of some crop yields. Especially the damage of rice yield was serious, crop situation indices of rice yield were 74 in the whole country, 28 in Aomori prefecture, 30 in Iwate prefecture, 38 in Miyagi prefecture and 40 in Hokkaido prefecture. Those crop situation indices were the worst since 1945.

The difference between in 1993 and in normal year of the mean temperature from the middle of July to the middle of August was the largest among the summer season in 1993, that was  $-4.0\sim-4.3$  in Aomori prefecture, Iwate prefecture and Miyagi prefecture.

There are many protection methods for cool summer damage of crops. The physical protection method is achieved by changing the volume of heat budget items; sensible heat, latent heat and soil heat. Wind breaks and deep flood irrigation are the main actual methods. The effects of those protection methods are discussed. Also, the achieving problems of the protection methods are discussed here.

**Key words:** Cool summer damage, Crop situation index, Micro meteorological control, Protection method, Weather.

### 1. はじめに

1993 (平成5) 年は全国的に冷夏で、そのため水稲をはじめ多くの農作物が冷夏の影響を受けた。特に、水稲の収穫量は平年を100とする作況指数で表すと74で著しい凶作で、1945 (昭和20) 年以來の悪い数字であった。

この凶作は農業関係者達にとって大きな衝撃であったばかりでなく、一般消費者など多くの分野に大きな影響を与えた。すなわち、コメの備蓄量が政策的に低く押さえられていたため、コメの供給に問題が生じ、店頭からコメが消えたり、緊急に輸入したコメが一般消費者の趣向に合わなく大量に売れ残りしたりした。また、食管制度、コメの自由化などコメをめぐる問題が、この凶作によって大きく浮かび上がり論議が盛んになった。

この論文は1993 (平成5) 年の冷夏の実態と気象の特徴を述べると共に、物理的な冷害防除の方法とその問題点を論じたものである。

### 2. 1993 (平成5) 年の冷害と気象の概要

#### 2-1. 1993年 (平成5) 年の冷害

##### (1) 1993 (平成5) 年の全国の水稲の作況

1993 (平成5) 年の水稲の作況指数は先にも述べたように74で、この値は1945 (昭和20) 年以來の悪い値であったが、東北地方 (作況指数-56) や北海道 (作況指数-40) では、1945 (昭和20) 年より悪く、近年にない未曾有の凶作であった。特に青森県の作況指数は28、岩手県の作況指数は30、宮城県の作況指数は38と太平洋岸の県は著しい凶作であった (図-1)。しかも、これらの

道県のなかでも太平洋岸に面した市町村は、作況指数が1桁でほとんど収穫皆無の状態であった。

さらに、全国の作況指数を見ると、北日本の太平洋岸の他に中国地方と九州地方の北部の作況指数が悪い。この地方は6月から8月にかけての低温と日照不足が影響した。

(2) 1993 (平成5) 年の冷害と過去の凶作年

1883 (明治16) 年からの日本全国の10アール当りのコメの収量の推移を図-2に示す。1883 (明治16) 年頃の豊作年は10アール当りの収量は200kg程度であった

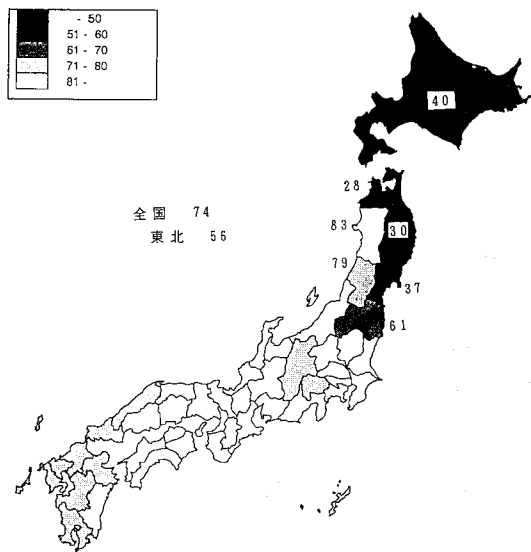


図-1 1993年の都道府県別作況指数

Fig. 1 Crop situation index for each prefecture in 1993.

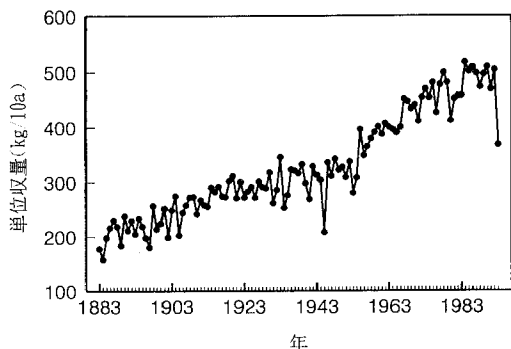


図-2 水稻の単位収量の変動 (全国)

Fig. 2 Variation of paddy rice yield for 10-are (Japan).

が、現在は500kgにも増加している。しかし、気象などの影響で年によって増減があり、豊作年との差(以下、減収量)は年により100kgにも達する。1925 (昭和元) 年から1993 (平成5) 年までの68年間について、作況指数が90以下の凶作年を調べると、表-1のごとくなり、1993 (平成5) 年の作況指数である73以下の年は1945 (昭和20) 年のみである。さらに、昭和20年以降、作況指数が90以下を示す年は、1943 (昭和28) 年と1980 (昭和55) 年の2年しかなく、また1925 (昭和元) 年からでも7年間のみであり、1993年は近年まれな冷害であったことが判る。

表-1に示した冷害年はいずれも東北地方や北海道の冷害年であり、東北地方や北海道の冷害が我が国全体のコメの収量に大きく影響する。特に、東北地方は我が国の水稻の生産量の約27%を占めており、この地方の作況指数が50以下になると、他の地方の作況が平年並でも日本全国の作況指数は90以下になる。

(3) 最近の全国のコメの収量とコメの自給率

近年において全コメの収量(水稻+陸稲)は不作の年で9,000千トン台、平年作で10,000千トン台、豊作年で11,000千トン台である。

この量と国民の消費量とを比較すると、表-2のごとく近年の自給率は1.00を切る年が多い。特に、冷害年が続いた1980 (昭和55) 年~1983 (昭和58) 年の4年間や1988 (昭和63), 1991 (平成3) 年は自給率が大きく1.00を割っている。1991 (平成3) 年は自給率が0.91であった上、1992 (平成4) 年は平年並の収量であり、米の備蓄量は余裕が無かった。そのため1993 (平成5) 年の凶作は国民の米の供給に応じきれなく、極端な米不足におちいった。

表-1 過去の凶作年(作況指数90以下)と1993年の冷害の比較(水稻)

Table 1 Comparison of the rice productions among the poor crop years since 1945 (under 90 crop situation index)

年 度	10アール 当り収量	作況指数	収 穫 量
	kg		千トン
昭和6年(1931)	262	90	8,098
9年(1934)	253	85	7,634
16年(1941)	269	88	8,111
18年(1943)	313	82	9,273
20年(1945)	208	67	5,823
28年(1953)	280	84	8,038
55年(1980)	412	87	9,692
平成5年(1993)	367	74	7,811

表-2 最近の米の収穫量（水稲）と消費仕向量および自給率

Table 2 Rice production, consumption and self-sufficiency ratio in recent years

年度（西暦）	収穫量 （水稲） 千トン	10 アール 当り収量 kg/10 a	作況指数	収穫量（水稲 +陸稲）（A） 千トン	国内消費 仕向量（B） 千トン	(A) (B)
昭和 55 (1980)	9,692	412	87	9,751	11,209	0.87
56 (1981)	10,204	453	96	10,259	11,130	0.93
57 (1982)	10,212	458	96	10,270	10,988	0.93
58 (1983)	10,308	459	96	10,366	10,979	0.94
59 (1984)	11,832	517	108	11,878	10,938	1.09
60 (1985)	11,613	501	104	11,662	10,849	1.07
61 (1986)	11,592	508	105	11,647	10,796	1.08
62 (1987)	10,571	498	102	10,627	10,647	1.00
63 (1988)	9,888	474	97	9,935	10,584	0.93
平成元 (1989)	10,297	496	101	10,347	10,527	0.98
2 (1990)	10,463	509	103	10,499	10,484	1.00
3 (1991)	9,565	470	95	9,604	10,513	0.91
4 (1992)	10,546	504	101	—	—	—
5 (1993)	7,811	367	74	—	—	—

表-3 1993年の全国の月別平均気温、降水量、日照時間と準平年値の比較

Table 3 Mean temperature, precipitation and sunshine hour of whole country for each month in 1983 and in normal year

月	4-10 平均	4	5	6	7	8	9	10
気 温 (°C)	17.0	9.4	14.5	18.3	20.8	22.0	19.2	13.4
準平年値	17.9	10.1	14.9	18.8	22.2	23.9	19.9	14.0
差	-0.9	-0.7	-0.4	-0.5	-1.4	-1.9	-0.7	-0.6
降 水 量 (mm)	1387.6	91.6	121.5	271.9	326.4	258.1	233.4	125.3
準平年値	1144.4	127.1	139.8	182.6	206.0	174.6	195.0	140.8
差	243.2	-35.5	-18.3	89.3	120.4	83.5	172.0	-15.5
日照時間 (hr)	837.0	165.0	150.1	88.7	89.4	116.2	112.3	140.5

## 2-2. 1993年（平成5）年の気象の概況

## (1) 気温、雨量の推移

このような状態をもたらした1993（平成5）年の気象をアメダスのデータから調べた。全国の月別平均気温を調べると（表-3）、1993年の4月から10月までは全国的に低温で、特に7、8月の平均気温が著しく低温である。また、全国的にも東北、関東の7、8月は平年比2.0°C以上も低温であった。

さらに、半旬別の気温の推移を調べると、図-3のごとく7月中旬から8月中旬にかけて特に低温であったことがわかる。そのためこの7月中旬から8月中旬の平均気温の各県の比較をすると、表-4のごとく冷害被害の著しい青森県、岩手県、宮城県などが、平年より4.0°C以上も低温である。7月中旬から8月中旬にかけてはイネの冷

害危険期であり、生育期間中の全般の低温と共に、この冷害危険期の低温が収量に大きく影響した。

また、降水量については全国的に多雨傾向で、特に7月と9月は多かった。地域的には九州が6月から9月まで110~310mmも多かった。そのため日照は少なく、これが九州北部の作況指数に影響している。

## (2) 地上気圧配置と高層天気図

典型的な冷害時の気圧配置は、オホーツク海高気圧が盛夏の時期にも居座り、冷たい北東気流を東北、北海道にもたやすためである。すなわち、日本付近の夏の500hPaの等圧線は大きく蛇行し、日本付近では南下しているため寒気が入りやすい場となっていた。このような状態が6月から8月にかけても続き、そのため夏（6月-8月）の平均高度偏差は負の偏差を示した（図-4）。

表-4 県別の月別平均気温の平年差の順位

Table 4 The orders of monthly temperature difference between in 1993 and in normal year

低温の順位	1 位	2 位	3 位
7月の平均	宮城 (-2.6°C)	茨城 (-2.5°C)	岩手 (-2.4°C)
8月の平均	秋田, 岩手, 新潟 (-2.8°C)	青森, 山形, 石川 (-2.7°C)	富山 (-2.6°C)
7~8月の平均	岩手 (-2.6°C)	青森, 宮城 (-2.5°C)	茨城 (-2.4°C)
7/16~8/15の平均	青森 (-4.3°C)	岩手 (-4.1°C)	宮城 (-4.0°C)

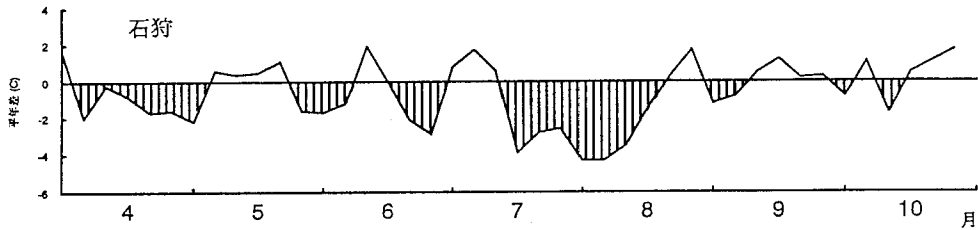


図-3 半月別の平均気温の平年差の推移 (石狩管内のアメダスの平均)

Fig. 3 Pentad variation of temperature difference between in 1993 and in normal year.

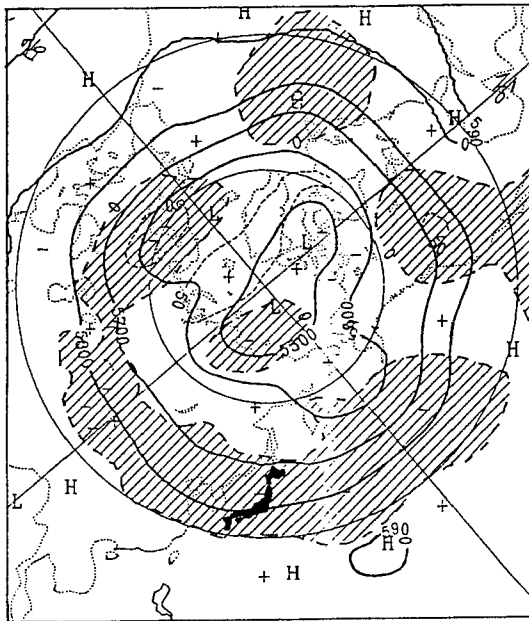


図-4 夏 (6-8月) の平均 500 hPa の高度偏差 (気象, 1993年11月号)

Fig. 4 Mean anomaly of 500 hPa for summer season (July to August in 1993).

上空の偏西風の蛇行は、地上のオホーツク海高気圧に対応し、地上の天気図では6月から8月にかけてオホーツク海高気圧が居座った。このオホーツク海高気圧から吹き出す北東風によって、北海道、東北、関東北部の太

平洋岸に低温をもたらしたものである。

### 3. 微気象改良による冷害防除

冷害に対する防除法は古くから種々研究され、また実施されている。この方法は3つに大別できる。第1は低温環境へのイネ自体の適応である。具体的には先天的にまた後天的にイネ自体に低温に対する抵抗性をつけることで、冷害環境に適した品種や健苗を育てることである。

第2は栽培法による冷害環境の回避である。具体的にはイネが低温に合わないよう栽培時期をずらしたり、栽培期間を短くしたりする方法である。

第3は農業気象的手段による微気象環境の改良である。すなわち、防風施設やその他の農業気象的手段による気温、地温、水温を上昇させることである。

冷害を克服するためにはこれらの方法を有機的に組み合わせる必要がある。期待できない。しかし、ここでは主に第3の農業気象的手段による冷害環境の改良について述べる。

#### 3-1. 農業気象的冷害対策

この方法は作物の生育に影響する気象要素を制御して、冷害被害を軽減する方法である。これらの方法は各々の熱収支項を制御または変化させて達成される。

すなわち、水田の熱収支は(1)式のように表される。  

$$W = S + L + IE + G + N \dots \dots \dots (1)$$

ただし、W: 水に貯留される熱量, S: 純放射量, L:

顕熱伝達量, 1E: 潜熱伝達量, G: 地中伝達量, N: 流入熱量と流出熱量の差。

農業気象的冷害対策はこれらの各々の項を制御して微気象環境を変化させる方法である。表-5に各項目による具体的方法を示す。

これらの方法の実施手段は農業土木的手段、樹木などなどの施設的手段、栽培技術的手段によって実施される(表-6参照)。

(1) 農業土木的手段

農業土木的手段は1940年代~1960年代にかけて大々的に行われた方法である。温水池や温水路は河川水温の低い地方に設置された。特に北海道の雪解け水が流入し

表-5 熱収支項の変化による冷害環境の改善法  
Table 5 Protection methods for cool summer damage by changing heat budget items

1. 蓄熱される水の容量による冷害環境の改善	◎かんがい水深の変化による水温・地温の上昇(日中浅水・夜間深水)
2. 純放射量の変化による冷害環境の改善	◎栽植方向・密度による水温・地温の上昇
3. 潜熱伝達量の変化による冷害環境の改善	◎防風施設による水温・気温の上昇 ◎蒸発抑制剤による水温・地温の上昇
4. 流入水熱量の変化による冷害環境の改善	◎温水池・温水路・温水田による水温上昇
5. 地中伝熱量の変化による冷害環境の改善	◎漏水防止・客土・排水・床締めによる水温・地温の上昇

表-6 冷害軽減の実施手段

Table 6 Operation methods for cool summer damage

1. 農業土木的手段による冷害環境の改善	— 温水池・温水路・客土排水・床締め
2. 栽培技術的手段による冷害環境の改善	— 深水かんがい・止水かんがい・遊水田・迂回路・栽植密度・方向・畦立栽培
3. 樹木施設などの構造的な手段による冷害環境の改善	— 防風林・防風施設(ポリチューブ・分散板)

河川水温が低い地方では多くが設置されている。

北海道で築造された温水池の計画上昇水温は、0.3~5.8℃で平均2.5℃である。しかし、計算上の上昇水温と実際の上昇水温は温水池内の死水のため一致しなく、熱効率率は0.80~0.95の間にあるとされている。

客土や排水、床締めなどは泥炭地や重粘土などの土壌条件の悪いところに主として実施されている。床締めによる水温上昇の例では平均1.1℃がある。また、ベントナイト客土による水温上昇の例として、0.2~1.5℃が報告されている。

(2) 施設的手段

樹木などの施設的手段によるものには、防風林、防風施設の他にポリチューブによる方法などがある。防風林は冷害対策より防風対策として古くから設置されている。特に北海道では開拓当時から自然林の一部を防風林として残したものが多く。その分布は十勝、根室、網走などの畑作地帯に多く見られる。しかし、日陰になること、雪解けが遅いこと、有害動物の住みかになること、つぶれ地が多いことなどのため、伐採される例が多い。それに代わって最近防風網が普及してきた。特に水田地帯の冷害対策に空知、石狩地方に多く見られる。

防風林、防風網による減風効果は網の密閉度や高さ、風速の大小などによって異なるが、一般的に防風施設の高さの20倍とされている。また水温上昇の範囲は減風効果より遠くまでおよび、高さの約40倍になることがある。これは高温になった水田水が風によって風下に流される結果である。

また、水温の上昇程度は減風1m/sec当り平均約1℃である。しかし、日中日射があるとき高さの5倍の地点で、7℃も高温になるという報告もある(図-5参照)。また、作物の生育が進むと水温の上昇程度は減少する。これは作物が繁茂して水面に当たる日射量が少なくなるた

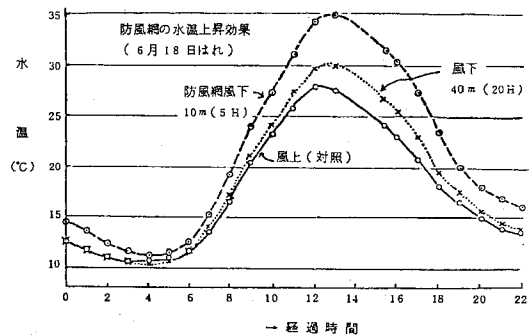


図-5 防風網による水温上昇(泊ら, -1978-より)  
Fig. 5 Water temperature rising by wind breaks.

めである。

水温上昇による作物の増収は最大40%の報告があり、さらに防風施設の高さの30倍の地点でも10%以上の増収効果がある(表-7参照)。

(3) 栽培技術的手段

栽培の技術手段による冷害環境の改善は、農家が各自実施している手段である。最近遊水田や迂回水路などの施設は余り見られなくなったが、冷害時には深水灌漑、止め水灌漑などは一般に行われている。日中、単位面積当りの純放射が同じであれば、水深を浅くすると水の体積当りの熱量が多くなるため水温が高くなり、水深を深くすると水温は低くなる。したがって、水深と水温は逆比例関係にある。

一方、夜間は水深が浅いと熱容量が小さいため水温低下が大きく、水深を浅くすると水温は低くなる。すなわち、水深と水温は比例関係にある。しかし、水深の違いによる水温はその時の気象条件に影響されるため単純ではない。

このように日中と夜間の水深を変えることによって水田水温を比較的高く保つことができる(表-8参照)。そのため古くから冷害の被害軽減技術として実施されてきた。しかし、最近大型化水田が普及し、昼夜別の水の掛け引きが容易にできなくなった。

最近では低温時に昼夜とも深水にすることが行われている。これは低温が入ってきたとき一般に気温より水温の方が高いのが普通であるため、地上5~17cm程度に生育した幼穂を水の中に浸して低温の気温から保護するこ

とである。したがって、気温と水温の相対的關係を把握する必要がある。

4. 冷害対策の問題点

冷害は農業気象的対策ばかりでなく種々の対策を組み合わせることによって、ある程度被害を軽減できる。1993(平成5)年の冷害時にも被害克服事例調査では防風施設の効果、深水灌漑の効果の外に適正施肥、成苗植えなどによる冷害被害の軽減事例が報告されている。このような報告は1993(平成5)年の冷害ばかりでなく、過去の冷害のたびに報告が見られる。問題は冷害対策技術そのものではなく、農家がいかに対策を実施しないこと、または実施できないことである。1976(昭和51)年の冷害の調査では深水灌漑を実施した農家は北海道平均で約49%であった。古くから有り、また冷害のたびにその効果が報告されている深水灌漑が、農家の半数も実施していないことは大きな問題である。

表8 水深の相違による水温差

Table 8 Water temperature difference by changing water depth

水 温	最 高 水温差	最 低 水温差	備 考
1.2 cm と 19.80 cm	3.6°C	-2.1°C	三原らによる
3 cm と 15 cm	2.0	-3.0	市村 "
2 cm と 13.5 cm	2.4	-2.0	岩切 "
3 cm と 13 cm	3.3	-1.7	星野 "

表-7 防風林・防風網による米の増収(泊ら-1978-より)

Table 7 Yield increase by windbreaks and shelter belt

場 所	区 別	10 a 当り (kg)			収量割合	屑米重量	千 粒 重	品 質	
		稈 重	籾 重	精 米 重					
(農家)	防風林下	m 50	470	630	532.4	122	4.7	23.6	2 中中
		" 75	470	603	503.5	116	6.1	23.3	2 中下
		" 100	455	570	467.6	107	7.9	23.2	3 中下
	島	" 125	439	550	459.3	105	8.4	23.5	3 中下
		" 150	409	536	447.6	103	8.4	24.1	3 中下
		" 175	409	522	435.9	100	9.0	23.3	3 中下
若 沢 (Y)	防風網上	30	515	530	420.5	100	21.0	22.9	5 下下
		" 下 10	508	735	597.5	142	15.6	23.3	3 下下
	" 20	515	636	522.8	124	15.9	23.3	3 中下	
		" 40	515	591	473.8	113	15.1	23.2	3 下下
" 60	530	590	479.2	114	17.0	23.3	4 上下		

注. (1) 収量調査は2反復調査を行い、架乾燥である。

(2) 品質調査は、食糧事務所の検査による。

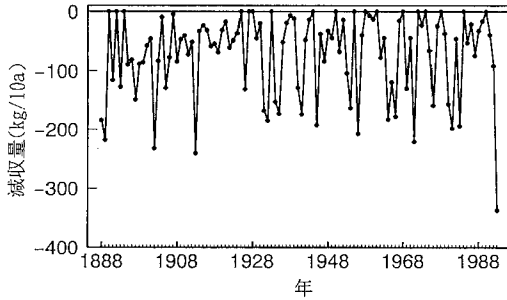


図-6 水稻の減収量の変動(北海道)

Fig. 6 Deviation of rice yield from that of good harvested year (Hokkaido).

この様な低い実施率の原因は、①畦畔の高さが不足のため深水灌漑できない、②灌漑用水が不足のため深水灌漑ができない、③1枚の水田面積が大きく迅速に深水灌漑ができない、④老齢化や労力不足のため深水灌漑ができない、⑤深水灌漑しようとする意欲がない、⑥その他が考えられる。特に最近④、⑤の原因による実施率の低下があるように思われる。老齢化や労力不足、意欲がなくとも、自動的に冷害対策が実施される方法の開発が必要である。最近、栽培管理や水管理などをコンピュータで行う全自動稲作の研究が始まった。老齢化や労力不

足でも実施できる方法として注目される。

さらに、低温抵抗性のイネの研究にも問題がある。北海道の水稻の10アール当りの推移を豊作年を基準にして示したのが図-6である。1880年代も1990年代になっても豊作年と冷害年の差(減収量)はほとんど変化がない。すなわち、低温抵抗性の品種が開発され冷害時にもある程度の収量があるが、減収量は同じであり農家の冷害感は依然として改善されていない。豊作年と冷害年の格差が無くなってはじめて冷害が克服されたといえる。

## 5. 引用文献

- 堀口郁夫(1984):冷害の農業気象的対策,北海道の農業気象,36:59~67。  
 堀口郁夫(1994):1993年異常気象による冷害の調査研究,pp 102,文部省科学研究費突発災害調査研究成果。  
 堀口郁夫(1994):冷害,北海道の農業気象,46:1~9。  
 泊 功,藤原 忠,石黒忠之(1978):防風施設の冷害気象改善効果に関する研究,北海道地域における異常気象対応技術の確立に関する総合研究(中間報告),60~76,農林水産省北海道農業試験場。

(受稿年月日1994年12月21日)

