

はじめに

7月12日奥尻島直撃の北海道南西沖地震の発生した平成5年は、田植から6月下旬までの低温ならびに7月後半と8月前半の著しい低温、日照不足によって、水稲の生育は約2週間遅れ、それにも増して、穂ばらみ期と開花期がこの異常気象に丁度遭遇したため、この時点において受精障害による不稔性の多発が予想され、9月上旬に実施した大規模な不稔性調査により、冷害大凶作の様相は確定的となった。

道立農業試験場の各場と農業改良普及所は、道農政部冷害調査稲作班を組織し、冷害の実態把握につとめ、農家水田調査ならびに農試と各普及所の作況試験、奨励品種決定試験基本調査、同現地調査、さらには深水管理、防風林（網）、直播栽培、不耕起栽培、施肥試験、有機

物と土壌管理、復元田、葉鞘褐変病防除等の各種試験の結果から冷害要因を解析するとともに、実態調査の中から克服事例を取りまとめ、冷害対策に関する技術的指針を得ようとした。なお、この間に12月14日農林水産省主催による平成5年の低温等による水稲被害と今後の技術対策に関する検討会、12月21日道農政部主催による平成5年度北海道稲作検討会が開催され、ここでの報告資料も参考とされた。

調査結果は次年度対策に活用するため、わずか3か月の短期間に精力的に取りまとめられた各場調査成績ならびに各普及所調査に基づく専門技術員調査成績の報告を受け、緊急に編纂したものである。

(竹川昌和)

I 北海道における稲作と冷害の概況

1 平成5年度稲作概況

(1) 作付動向

平成5年における水稲作付け面積は約17万haで、これ

は昭和54年当時の面積に相当するものであった。作付け面積の増加は平成4年より実施された大幅な転作緩和によるものであり、この2年間で約3万haが復元されたことになる。(表I-1)

表I-1 水稲作付面積及び転作緩和面積の動向

区分	水稲作付面積 (ha)			転作緩和予定面積 (ha)		
	平成5年	平成4年	平成3年	平成6年	平成5年	平成4年
石狩	14,727.8	14,086.4	12,919.3	750	1,000	1,300
渡島	4,506.7	4,476.8	4,403.2	170	50	180
檜山	6,237.5	6,053.1	5,611.4	160	100	500
後志	7,153.7	7,112.9	6,841.9	90	130	420
空知	75,384.2	68,820.5	60,496.6	3,400	6,790	8,680
上川	41,895.3	39,204.1	33,242.5	2,060	2,950	6,260
留萌	6,159.7	5,727.2	5,161.2	300	470	630
網走	3,699.9	3,713.4	3,791.4	160	20	0
胆振	6,754.0	6,523.1	6,141.0	220	340	430
日高	4,206.2	4,221.7	4,324.9	40	-60	0
十勝	310.0	364.6	435.1	-50	-40	0
北海道	171,035.0	160,303.8	143,368.5	7,300	11,750	18,400

*北海道農政部資料より

*転作緩和面積には多用途利用米を含む

表 I - 2 平成5年支庁別主要品種の作付構成

1. うるち

支 庁	面 積	きらら397	ゆきひかり	空育125号	上育393号	ほか224	巴まさり
石 狩	14,656ha	39.7%	52.9%	4.8%	0.1%	0%	0%
渡 島	4,221	23.9	27.2	0.5	0	36.6	10.4
檜 山	6,181	27.1	58.8	0.6	0	7.4	3.5
後 志	7,017	37.8	54.5	6.4	0.3	0.4	0
空 知	74,545	49.6	41.1	8.8	0.1	0	0
上 川	35,517	59.6	25.0	12.5	1.6	0	0
留 萌	5,485	40.2	33.3	25.2	0.5	0	0
網 走	779	11.8	9.9	0.6	65.3	0	0
胆 振	6,724	35.6	56.4	4.4	0.2	0.2	0
日 高	4,171	38.2	58.9	1.7	0.3	0.2	0
十 勝	18	27.8	11.1	0.0	11.1	0.0	0
北 海 道	159,313	47.4	40.2	8.7	0.8	1.3	0.4

2. もち

支 庁	面 積	はくちょう	たんねもち	工藤稻
石 狩	72ha	20.8%	73.6%	0.0%
渡 島	285	0.7	72.6	26.3
檜 山	56	0.0	14.3	73.2
後 志	137	83.2	12.4	0.0
空 知	840	27.6	72.3	0.0
上 川	6,378	76.0	23.8	0.0
留 萌	674	54.0	46.0	0.0
網 走	2,921	97.6	2.3	0.0
胆 振	30	30.0	26.7	13.3
日 高	36	2.8	75.0	0.0
十 勝	292	59.6	40.1	0.0
北 海 道	11,722	73.5	25.1	1.0

*北海道農政部稲作調査より

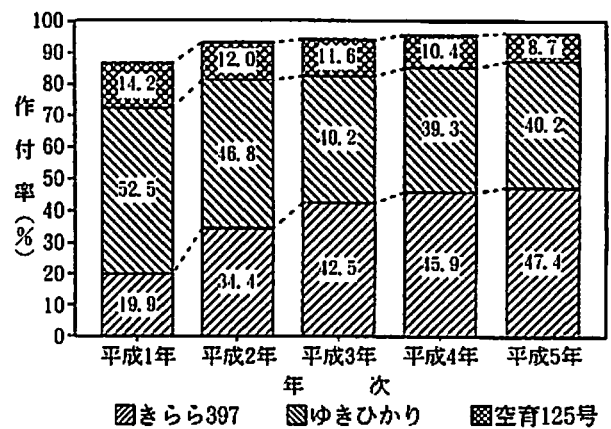


図 I - 1 主要3品種の作付け率の推移 (食糧事務所資料、1993)

表 I - 3 平成5年支庁別栽培様式

支 庁	水稲面積	直 播	乳 苗	稚 苗	中 苗	成 苗	手 植
石 狩	14,728ha	0.0%	0.0%	1.0%	58.4%	40.4%	0.1%
渡 島	4,506	0	0	0.0	91.5	6.6	2.0
檜 山	6,237	0	0	7.6	65.2	26.9	0.3
後 志	7,154	0	0.0	17.3	68.0	12.5	2.3
空 知	75,385	0.1	0	4.1	49.1	46.6	0.1
上 川	41,895	0.1	0.0	1.0	58.1	39.6	1.2
留 萌	6,159	0	0	9.2	52.7	38.1	0.1
網 走	3,700	0	0	0.1	65.7	33.2	1.0
胆 振	6,754	0.0	0	6.6	63.2	29.9	0.3
日 高	4,207	0	0	7.0	59.2	33.7	0.0
十 勝	310	0	0	0.0	40.0	59.7	0.6
北 海 道	171,035	0.1	0.0	3.9	55.9	39.6	0.5

*平成5年稲作調査(北海道農政部)

復元田面積は作付け面積の約18%をしめるが低温の影響を一般田よりやや強く受けた傾向にあった。ちなみに、道央部における復元観察田の調査結果によると、一般田対比で復元初年目88%、2年目91%となった。

(2) 作付品種の動向

平成5年における支庁別の作付け品種の構成をみると、表-2のように、うちでは「きらら397」と「ゆきひかり」の作付け率が極めて高く、石狩、後志、空知、上川、胆振、日高ではこれら2品種で90%を超える状況であり、危険分散ができづらいつ傾向になっている。特に「きらら397」の作付けは平成元年より年々増加傾向にある。(表I-2、図I-1)

もちでは、道南を除いてはくちょうもち、たんねもちが中心となっている。特に網走では、はくちょうもちが98%に達している。

(3) 栽培法の動向

1) 支庁別栽培様式

直播栽培の比率は極めて少ないものの、栽培面積は前年に比し53ha増の117.1haとほぼ倍増した。また、乳苗の作付けは3haで前年より3ha減少する等低迷している。苗の種類別作付け割合の全体的な傾向としては、稚苗

表I-4-1 霜注意報発令状況とくん煙実施日

月	発令日及びくん煙実施日(日)
9月	*19、20、*21、*22、27、*28
10月	1、*2、*3、*5、*6、8、*10、*11、12*13*14、15、17、18、19、20

*平成5年稲作調査(北海道農政部)

が減少し成苗が増加している。平成5年における成苗率は39.6%で前年に比し2.3%増となった。特に気象条件等が不安定とされる石狩、空知では40%を越え地域での成苗化がすすんでいる。(表I-3)

2) 生育遅延にともなう霜害対策

大幅な生育遅延により、霜害予防としてのくん煙対策が全道で実施された。

水稲作付けのある144市町村の内、84市町村でくん煙体制がとられ、この内52市町村で延べ72回のくん煙が行われた。(表I-4-1、表I-4-2)

(4) 作柄の動向

1) 作況指数

平成5年産水稲の作柄は作況指数40の「著しい不良」となった。地域別には、留明、上川、空知等の道央部では比較的被害が軽くその周辺地域での被害は大きくなっている。特に、道南、道東での被害が著しく極めて地域差の大きい年となった。(表I-5、図I-2)

全道的には昨年に続く冷害年となったが、渡島、檜山、胆振、日高、網走等の地域では3年連続の冷害となった。(図I-3)

2) 青刈り

冷害被害の著しかった渡島、檜山、後志では一部に収穫を諦め、青刈りが行われた。地域別の面積は渡島で485.5ha、檜山1,907.3ha、後志41.4ha、全道で11,929筆、2,434.2haとなった。

3) 玄米品質

主要稲作地帯における玄米品質を10月15日現在で調査した結果、着色粒の多発等により規格外となるものが多かった。

表I-4-2 平成5年霜害予防くん煙実施状況

支区	庁分	水稲作付市町村数	くん煙計画		くん煙実施		
			市町村数	期間(月、日)	市町村数	期間(月、日)	延べ回数(回)
石狩		10	7	9.20~10.15	3	10.06	3
渡島		11	0		0		
檜山		10	1	9.20~10.15	0		
後志		20	13	9.10~10.15	4	9.19~10.06	7
空知		25	23	9.15~10.20	20	10.06~10.13	25
上川		23	23	9.10~10.21	17	9.22~10.06	24
留明		7	5	9.18~10.20	0		
網走		12	3	9.20~10.10	4	9.22~10.06	6
胆振		13	8	9.09~10.10	3	10.06~10.11	3
日高		8	1	9.18~9.30	1	10.05~10.14	4
十勝		5	0		0		
計		144	84		52		72

*北海道農政部資料より

表 I - 5 平成5年産水稻の収穫量 (農水省北海道統計情報事務所、1993)

作柄表示地帯	作付面積 ha	10a当たり収穫 kg	収穫量 t	作況指数	平年収量 kg/10a
北海道	172,600	203	350,700	40	503
石狩	14,900	178	26,500	36	491
空知	76,200	240	182,700	47	509
上川	42,000	259	108,800	50	518
留萌	6,210	308	19,100	62	494
渡島	4,640	15	673	3	474
檜山	6,240	9	569	2	481
後志	7,270	75	5,430	15	490
胆振	6,840	41	2,830	8	483
日高	4,320	55	2,820	13	483
十勝	311	1	3	0	376
網走	3,710	35	1,300	8	455

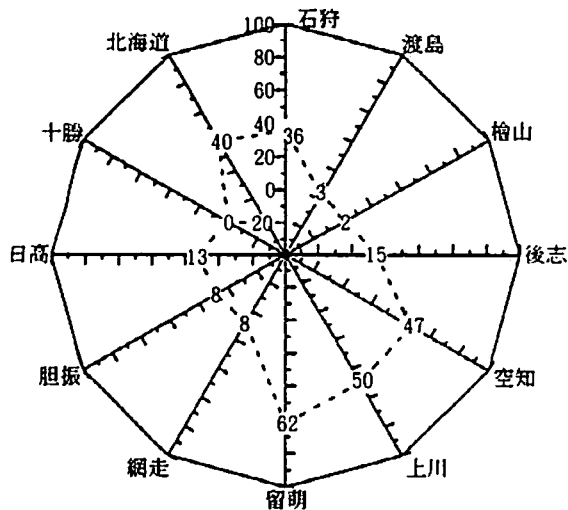


図 I - 2 平成5年支庁別作況指数 (統計情報事務所資料、1993)

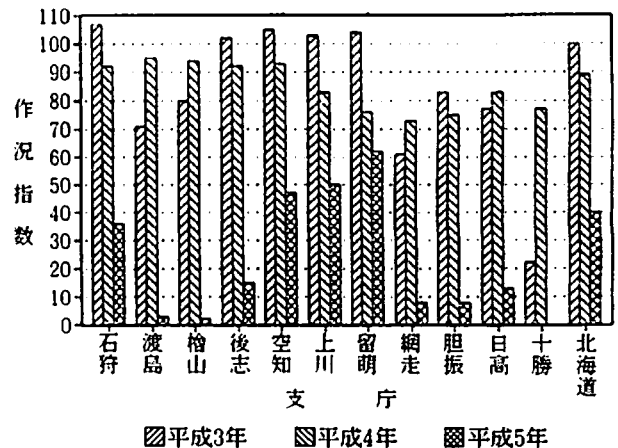


図 I - 3 水稻支庁別作況指数の推移 (統計情報事務所資料、1993)

表 I - 6 平成5年主要地帯の玄米品質

区分	整粒歩合	未熟粒歩合	着色粒歩合	被害粒歩合
石狩	55.4%	33.3%	2.5%	8.8%
後志	59.9	26.3	1.4	12.1
空知	53.4	29.7	2.0	9.2
上川	49.5	39.1	0.3	10.8
留萌	70.9	17.2	1.7	6.0
胆振	22.0	70.2	0.4	2.9
日高	25.3	62.5	0.6	10.3

*北海道農政庁資料より (10月15日現在。1.7mm篩い)

表 I - 7 1等米出荷比率

支庁	5年	4年	3年
石狩	29.4%	38.8%	70.5%
渡島	0.4	41.4	17.8
檜山	0.4	78.0	67.5
後志	6.6	43.2	70.4
空知	41.7	49.9	68.8
上川	40.0	43.8	77.5
留萌	27.3	17.8	73.0
網走		0.5	0.3
胆振	13.0	16.8	25.5
日高	13.0	34.4	26.8
十勝		0	0
北海道	37.6	44.4	67.1

平成3年、4年は北海道食糧事務所資料 (うるち、もち合計)、5年はホクレン資料 (うるちのみ、12月14日現在)

また、12月末現在における1等米出荷比率を、ホクレン資料でみると全道平均で37%となったが、冷害年としては過去の例からみると、平年作並みの比率の高い年となった。(表I-6、表I-7)

(中西敏雄)

2 気象概況と地域的特徴

(1) 気象概況

1) 6～8月の気象経過

稲作に影響する気象要素の中では、気温、日照時間(日射)および風速が最も重要である。北海道における夏期(6～8月)の気象経過を図I-4に示した。6月は低温・日照不足であった。最低気温はほぼ平年並みであったが、最高気温は概ね17～20℃で平年より2～4℃低く、日照時間は50～100時間/月で平年の30～60%であった。

7月上旬は一時回復し、最高気温が23～27℃、日照時間が100～120時間/旬で高温、多日照となった。

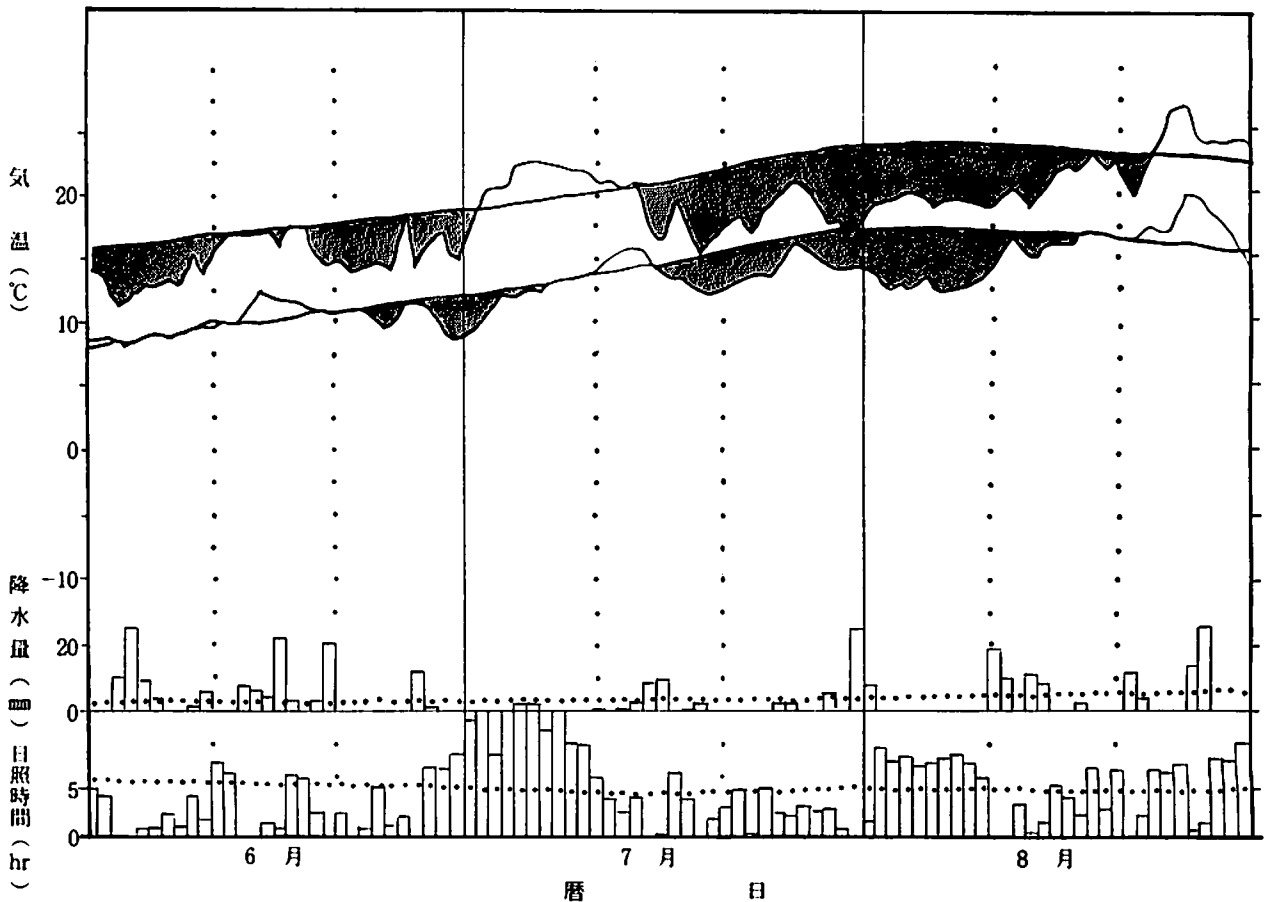
その後は再び不良となり、7月15日から8月15日まで

の間は長期の異常低温・日照不足にみまわれた。この間の最高気温は18～25℃、最低気温は10～15℃、平均気温は16～18℃で、中でも道東では15℃前後とまさに盛夏の異常低温であり、いずれも平年より3～5℃と著しく低く、長期間の異常低温となった。また、この間の積算日照時間は平年の70～80%であった。とくに、7月下旬の日照時間は0～60時間/旬であり、著しい日照不足となった。ただし、8月上旬は、気温は著しく低いが、日照時間は40～100時間/旬であり、ほぼ平年並みの60時間/旬以上の地域が多く、いわゆる晴冷型となった。

8月後半と9月は寒暖の差があり、8月下旬は最高気温、最低気温がともに平年並か、平年をやや上回ったが、登熟期間を通してみると気温、日照時間はともに平年をやや下回った。

2) 気温、日照時間の平年比

夏期(6～8月)の気温、日照時間の平年差、平年比の地域分布について図I-5に示した。平均気温の平年差は、留萌が-1℃以内の落ち込みで比較的小さかったが、その他の地域はこれより大きく、とくに道南、道東



図I-4 気象の日別時系列図(北海道平均 6月1日～8月31日 北海道気象協会 1993)

注) 上から最高気温、最低気温、降水量、日照時間

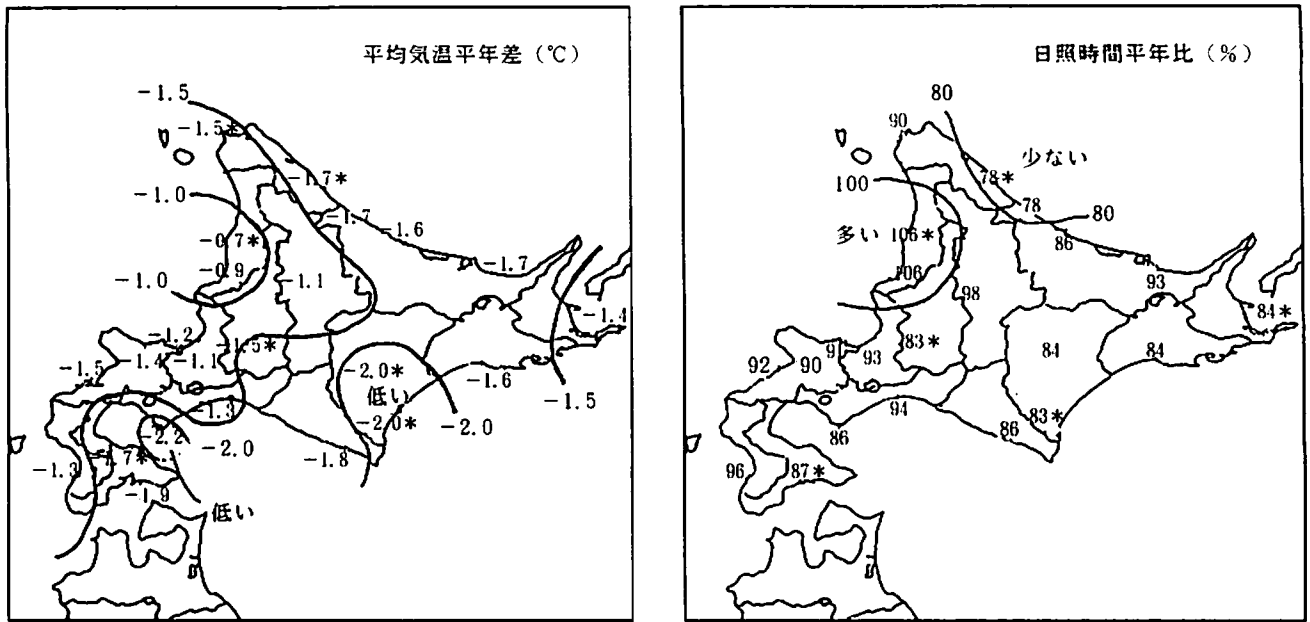


図 I - 5 1993年夏(6~8月)の各気象要素の平年差・平年比分布図(北海道気象協会、1993)

では-1.5~-2.0℃と平年をかなり下回った。日照時間についても留萌は平年を上回っていたが、その他の地域はいずれも平年より少なく、とくに道南、道東では90%以下のところが多かった。

3) 7月15日~8月15日の長期異常気象

穂ばらみ期から出穂開花期の期間が丁度7月15日から8月15日の長期異常気象の期間に遭遇した。7月下旬、8月上旬、8月中旬の気温、日照時間の地域分布を図I-6~I-8及びカラー図1、2に示した。

7月下旬の平均気温は旭川から留萌にかけては19℃以上で比較的軽い低温域であったが、札幌以南と網走、十勝ではほとんどのところが17℃以下、中には14℃前後の著しい低温となった。同期の最高気温は上川の中・北部が23~24℃と比較的高かったが、札幌以南では20℃以下の低温であった。日照時間についても気温の分布とほぼ同様で、旭川から留萌にかけては50~60時間/旬と比較的多かったが、そのほかの大部分の地域は30時間/旬未満であり、とくに札幌以南では10時間以下の著しい日照不足であった。とりわけ渡島半島を含む太平洋沿岸では低温、日照不足が持続した(図I-6)。

8月上旬の気温、日照時間の地域間差もほぼ7月下旬に準じていたが、7月下旬に比較して総じて気温は約1℃低く、日照時間は約50時間/旬多かった。平均気温は芦別などごく一部では18℃台であったが、これを除くと17℃以下の地域が広範囲に広がった。とくに道東は15℃以下の著しい低温となった。最高気温は士別などごく一部で25℃台であったが、大部分の地域は20~23℃と著し

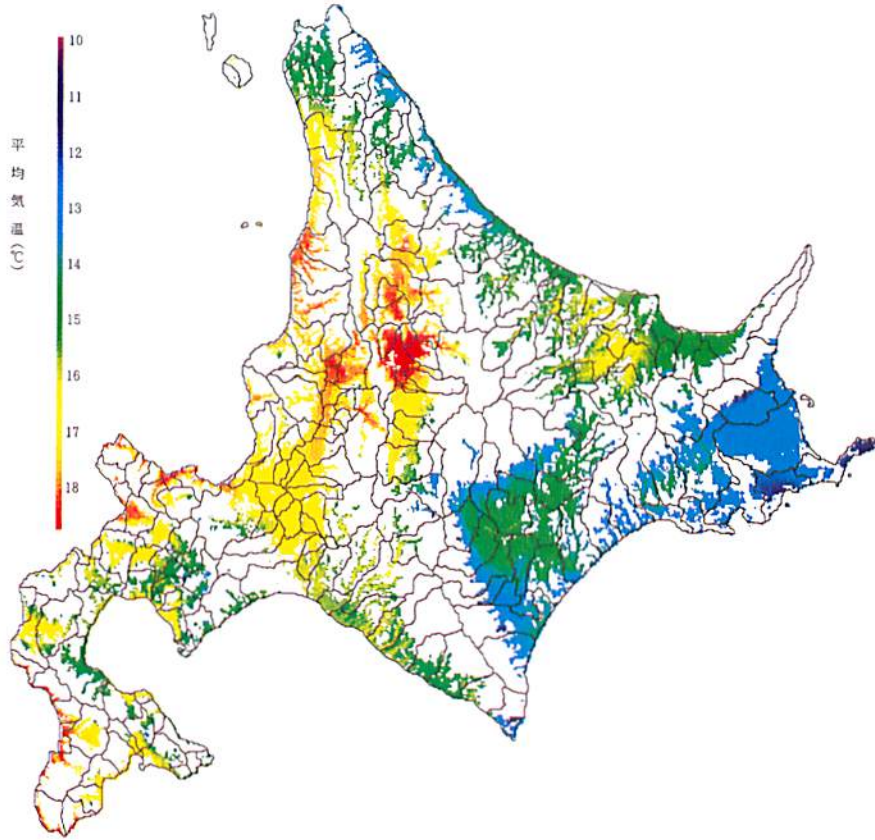
い低温となった。日照時間は留萌が100~110時間/旬と多く、その周辺が60~100時間/旬前後で、太平洋沿岸部で30~50時間/旬と平年並みか、やや多かった(図I-7)。

ここで7月下旬と8月上旬の平均風速を表I-8に示した。この間の平均風速は渡島半島の海岸部でとくに強く、4~5m/sであり、同内陸部でも3m/s前後であった。ただし、熊石は弱く2m/sに達しなかった。そのほかの主要稲作地帯では、留萌および岩見沢の3~4m/sを除いて1~3m/sであり、多くは2m/s前後であった。平年に比較すると道央、道北などにおけ

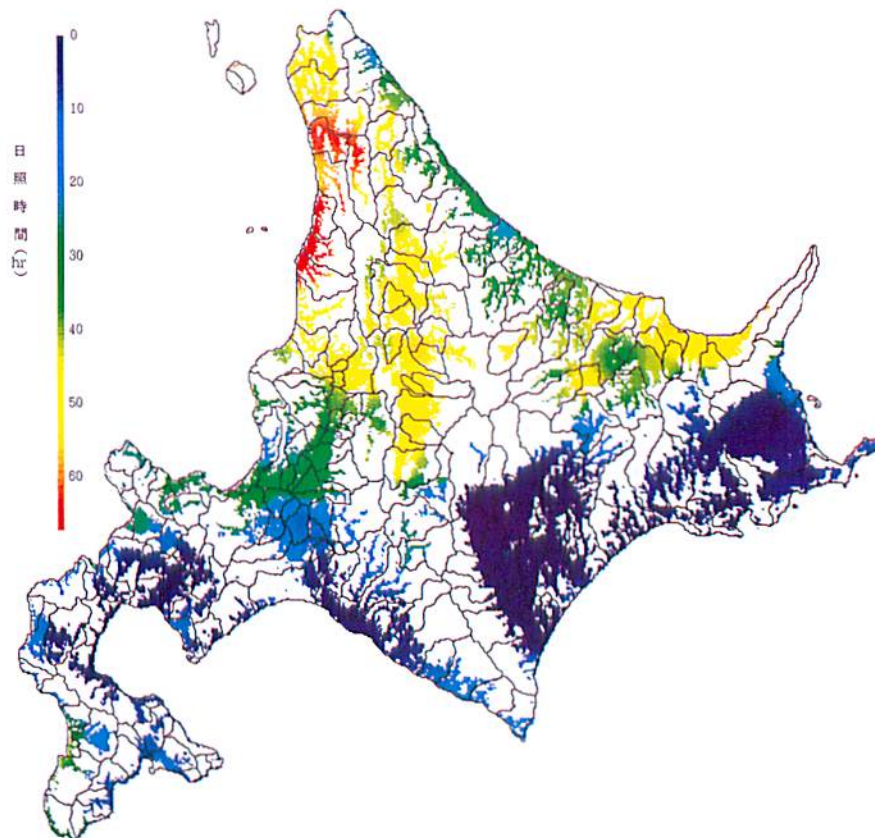
表 I - 8 7月下旬、8月上旬の平均風速(1993)

地点	7月下旬	8月上旬	地点	7月下旬	8月上旬
士別	0.9m/s	1.3m/s	芽室	0.8m/s	0.7m/s
旭川	2.0	1.8	池田	1.7	2.1
美瑛	1.7	1.4	余市	1.4	1.7
富良野	2.8	2.8	蘭越	1.2	1.4
留萌	4.0	4.1	長万部	4.4	3.7
沼田	1.1	1.2	八雲	2.7	2.3
深川	2.8	2.7	今金	3.8	3.2
滝川	2.6	2.7	瀬棚	5.0	4.7
美唄	1.6	1.8	熊石	1.7	1.9
岩見沢	2.9	3.6	厚沢部	2.7	2.8
長沼	2.3	2.3	大野	2.7	2.6
厚真	1.2	2.3	木古内	4.8	4.8

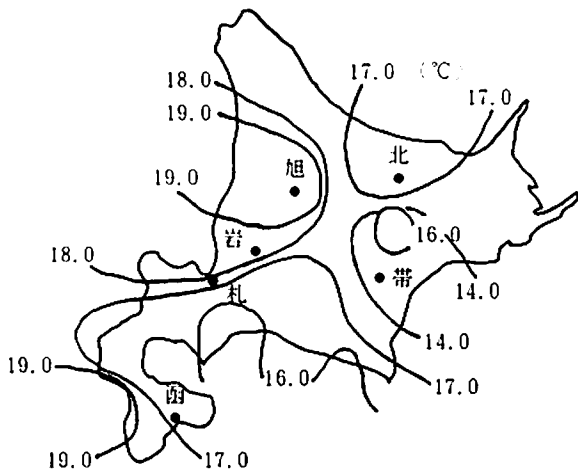
注) 1993年アメダスデータ



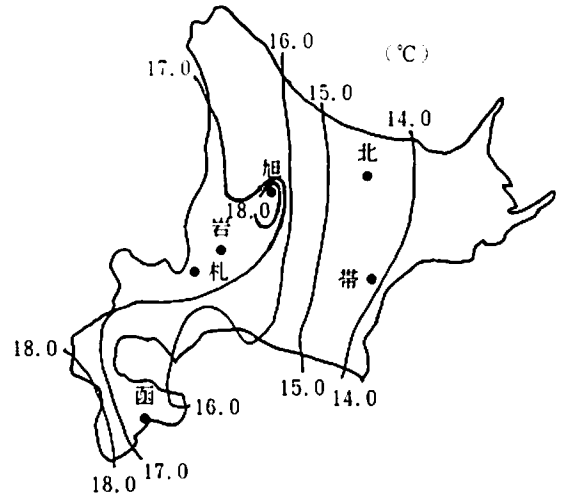
カラー図1 7月下旬の平均気温の分布 (アメダスメッシュ、1993)



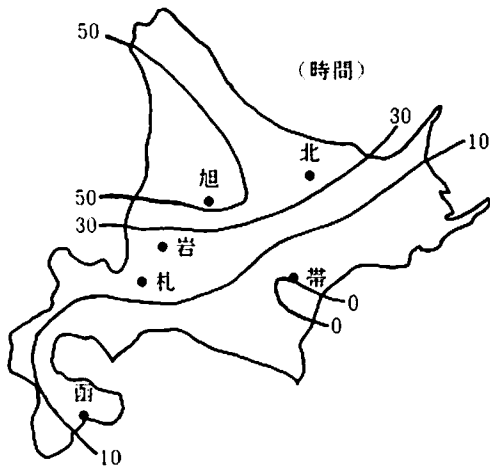
カラー図2 7月下旬の日照時間の分布 (アメダスメッシュ、1993)



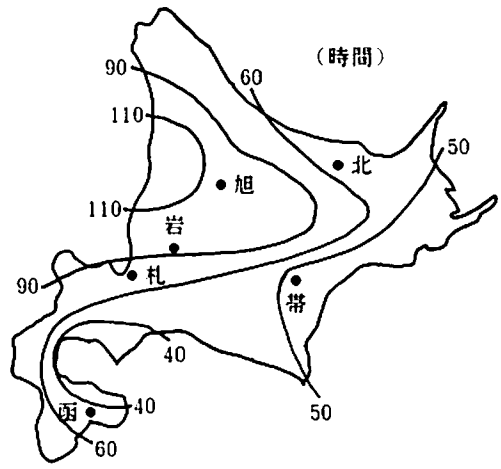
a. 平均気温 (7月下旬)



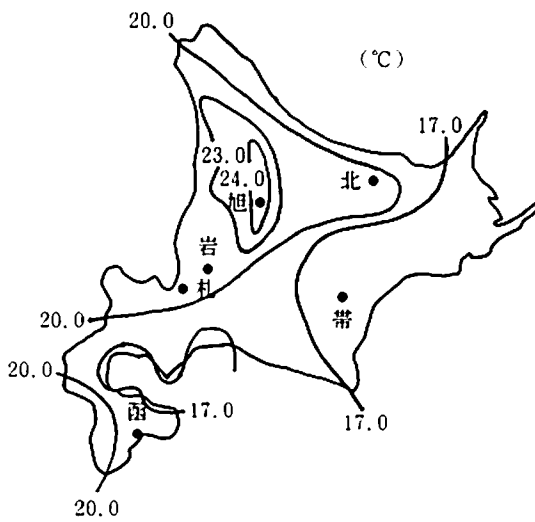
a. 平均気温 (8月上旬)



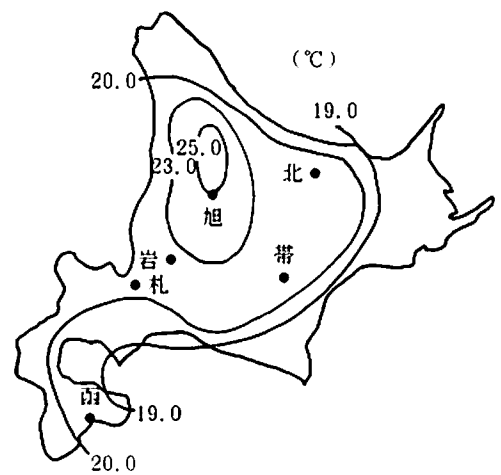
b. 日照時間 (7月下旬)



b. 日照時間 (8月上旬)



c. 最高気温 (7月下旬)



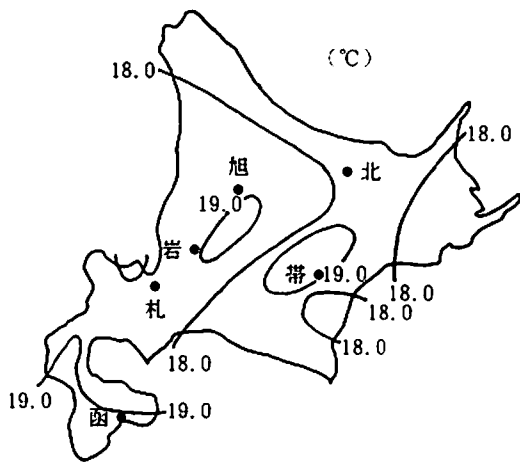
c. 最高気温 (8月上旬)

図1-6 7月下旬の気温と日照時間の分布 (1993)

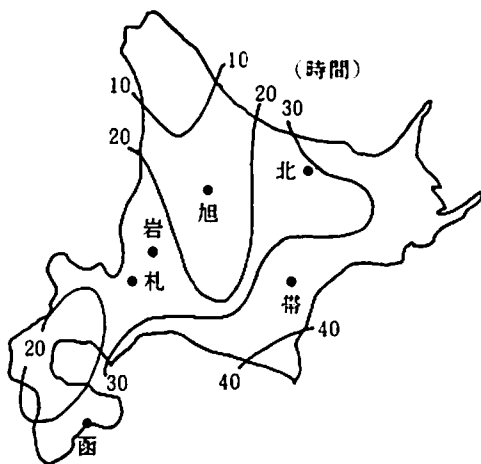
注) 1993年アメダスより作図

図1-7 8月上旬の気温と日照時間の分布 (1993)

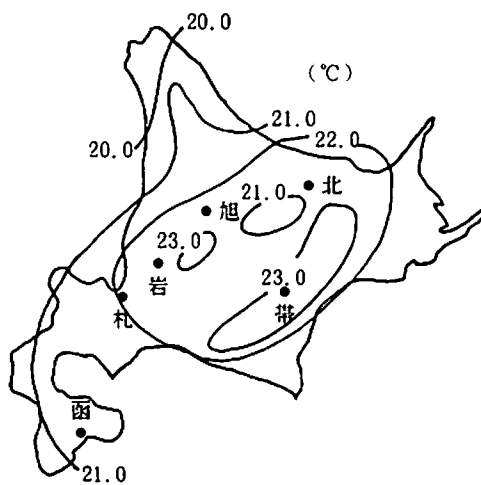
注) 1993年アメダスより作図



a. 平均気温 (8月中旬)



b. 日照時間 (8月中旬)



c. 最高気温 (8月中旬)

る平均風速は平年並みか、平年よりやや弱いところもあったが、渡島半島を中心にして極めて強い風を受けており、道南においては低温、日照不足を伴ったいわゆる「やませ(冷風)」の吹送した気象条件であった。

8月中旬の気温、日照時間の分布を図I-8に示した。気温については7月下旬、8月上旬と異なり、ほぼ全道的に18℃以上となり、地域差はほとんど見られなくなった。最高気温は十勝中部と美唄などで23℃台となり、全道的にも20℃以上の比較的高温条件となった。日照時間は全道的に40時間/旬以下で、平年よりやや少なかったが、上川、空知が10~20時間/旬、道南が20時間/旬前後、その他が20~40時間/旬であり、どちらかという北部ほど日照不足の傾向で、日照時間の地域間差についても7月下旬、8月上旬とは異なった。

4) 過去の冷害年との比較

最近50年間の主要な冷害年次の暖候期の気温について、中央農試稲作部の平均気温によって図I-9に示した。

冷害年次において不稔穂の発生にもっとも影響すると思われる7月15日から8月15日の間の平均気温は表示した年次についてはいずれも平年を大きく下回っているが、この期間に20℃以下となったところを比較すると1993年が最も長期間であり、かつこの間に20℃以上となった期間についても最も少なかった。すなわち低温の程度と期間の長さは、1993年が少なくとも戦後の冷害年次の中では最も強く、長かったことがわかる。

次に過去24年間の道南における7月の平均気温の年次変化について、道央部と比較して図I-10に示した。

道南地方においては、20年ほど前には多収品種のマツマエが主に栽培されていたが、その頃の7月の平均気温は20℃前後で、道央部とも大差なく、気温が下がっても約19℃であった。ところがこれに比較して、1979年以降においては20℃を越えることがなく、しかも、道央部に比較して20℃以下への落ち込みが大きく、さらに、その低下程度は低温年次において特に大きく、17℃あるいは15℃台と著しく低下している。1980年代に入って良食味品種の栽培が主体となった道南地方においては、道央部に比較して異常気象の発生頻度がとくに高まっており、1993年もその傾向の中にあつたことがわかる。

図I-8 8月中旬の気温と日照時間の分布 (1993)

注) 1993年アメダスより作図

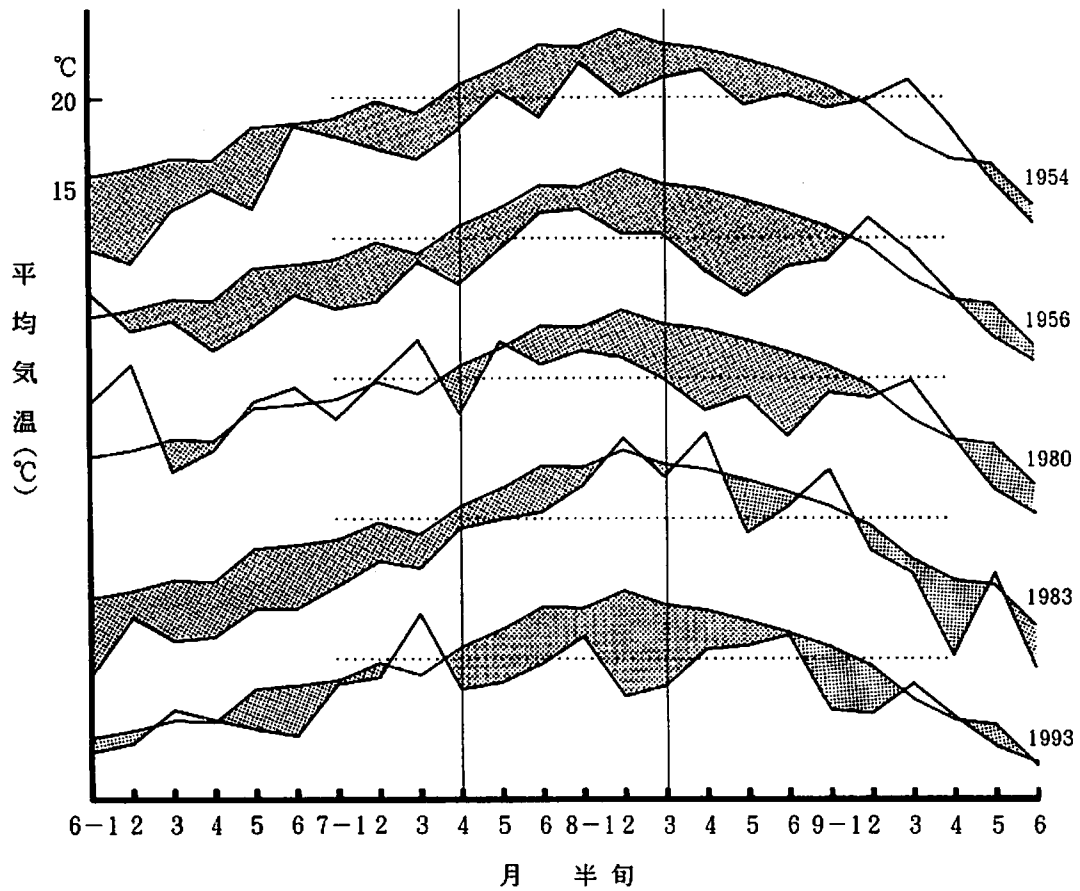


図 I - 9 冷夏年の半旬別気温

注) 中央農試稲作部の百葉箱測定。

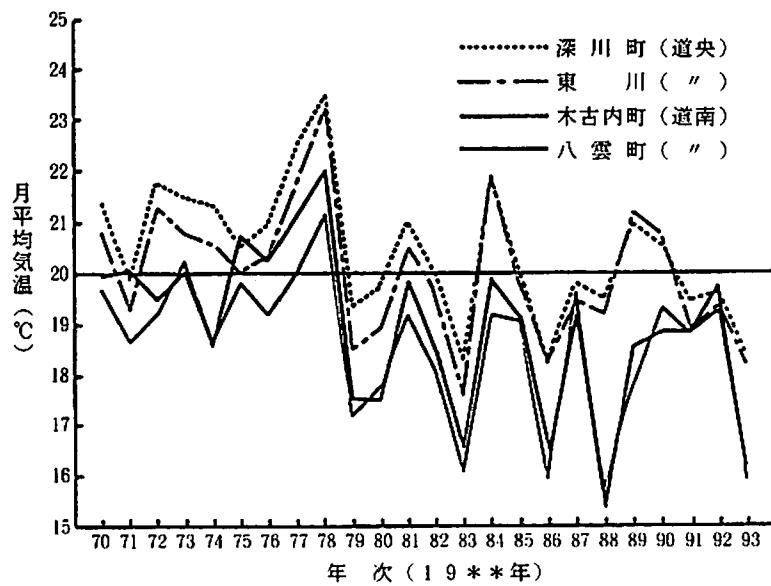


図 I - 10 市町村別7月平均気温の年次変化
(日最高最低平均気温の月平均気温=アメダス)

(竹川昌和)

(2) 作柄の概況および地域間差異

1) 水稲被害の実態

1993年の北海道の作況指数は40で、過去の冷害年の作況指数、6 (1913年)、12 (1902年)、28 (1884年)、30 (1932年)、38 (1931年) に次ぐものであった。支庁別では、最も高い留萌の62に続き、上川 (50)、空知 (47)、石狩 (36) が比較的良好方で、後志 (15)、日高 (13)、胆振 (8)、網走 (8)、渡島 (3)、檜山 (2) および十勝 (0) では大凶作となった。道東部にもまして渡島半島を含む太平洋側の被害が極めて大きく、また道央の南部と上川北部も被害が大きかった。青刈面積は渡島半島を主として約2,400haに達した。なお、こ

れらの低温による著しい被害は東北地方の太平洋側各県においても見られた。

図 I - 11 に示すように、支庁別の稔実歩合と作況指数の関係は極めて直線的であり、作況指数の地域間差異は稔実歩合では説明された。

また、各支庁をさらに2~4の地域に分けて出穂期と不稔歩合の関係を見ると (図 I - 12)、不稔歩合は出穂期が遅れるほど高い傾向にあり、各地域を両形質によって3群に分けることができた。すなわち、A群の出穂期は8月6日~12日で不稔歩合は30~40%、B群の出穂期は8月15日~19日で不稔歩合は50~80%、C群の出穂期は8月21日~25日で不稔歩合が80~99%であった。

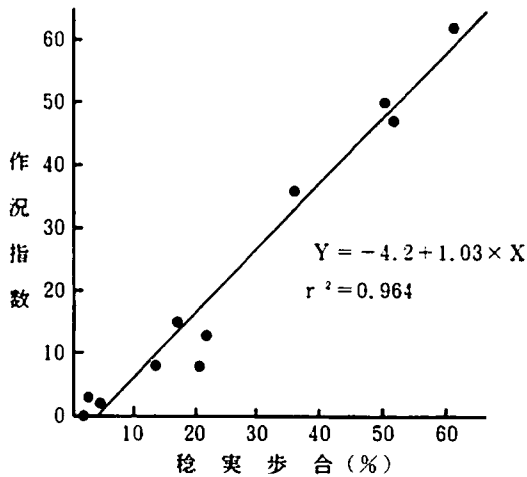


図 I - 11 平成5年の支庁別稔実歩合と作況指数の関係 (1993)

注) 稔実歩合は表 I - 11を参照。

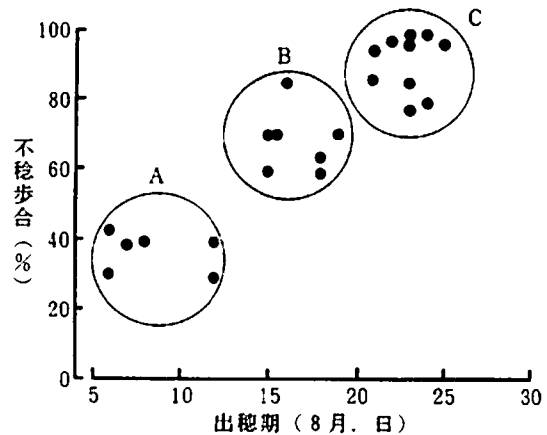


図 I - 12 地域別に出穂期と不稔歩合の関係 (1993)

注1) A: 留萌北、留萌南、上川中央、空知北、空知北西、空知中央
 B: 石狩北、石狩中、空知南、後志北、後志南、上川北、上川南
 C: 渡島北、渡島南、檜山北、檜山南、胆振東、胆振西、日高東、日高西、網走、十勝
 2) 出穂期と不稔歩合は表 I - 9を参照。

表 I - 9 水稲の稔実歩合 (1993年9月15日現在) と生育期節 各普及所調査、農業改良課まとめ

支庁	普及所	地域区分	1993年	幼穂形成期	止葉期	出穂始	出穂期	出穂揃	備考 (該当市町村)	ランク
			稔実歩合							
石狩	北部	北部	40.6	7.12	8.02	8.13	8.18	8.22	浜益、厚田、当別、新篠津	B
		中部	34.3	7.15	8.02	8.17	8.19	8.23	石狩、江別	B
		南部	24.2	7.14	7.31	8.16	8.19	8.23	広島、恵庭、千歳	B
	中南部		30.3	7.15	8.01	8.17	8.19	8.23		B
	平均		36.3	7.13	7.13	8.16	8.18	8.22		
空知	北部	北部	69.4	7.08	7.25	8.02	8.06	8.11	深川、妹背牛、秩父別	A
		雨竜西	61.1	7.08	7.28	8.05	8.11	8.17	沼田、北竜、雨竜	A
	西部	西部	73.7	7.11	7.26	8.08	8.13	8.16	新十津川、砂川、浦臼、奈井江	A
		東部	69.5	7.03	7.22	7.31	8.04	8.15	滝川、赤平、芦別	A
	中央部		71.3	7.09	7.28	8.06	8.12	8.17		A
	中央	45.9	7.10	7.29	8.08	8.13	8.18	月形、美唄、北村、三笠、栗沢	B	
	南東部	23.1	7.14	8.03	8.14	8.20	8.24	栗山、由仁、夕張	B	
	南西部	24.1	7.10	7.30	8.11	8.16	8.19	南幌、長沼	B	
南部		36.6	7.11	8.01	8.12	8.18	8.23		B	
平均		51.6	7.09	7.28	8.07	8.12	8.17			

注) 普及所別、地域別、支庁別の平均値は作付け品種の面積で加重平均とした。ランク A、B、Cは図 I - 12を参照。

表I-9 つづき

支庁	普及所	地域区分	1993年	幼穂	止葉期	出穂始	出穂期	備考 (該当市町村)	ランク	
			稔実歩合 %	形成期 月日	月日	月日	月日			出穂揃 月日
上川	北部	名寄	61.7	7.09	7.30	8.10	8.17	美深	B	
			54.5	7.07	7.26	8.06	8.11	8.16	名寄、風連、下川	B
	士別	北部	34.3	7.13	8.01	8.10	8.15	8.19	士別、剣淵、和寒、朝日、(幌加内)	B
			40.9	7.10	7.30	8.10	8.15	8.19		B
	旭川	中央部	65.2	7.07	7.25	8.03	8.07	8.14	鷹栖、旭川	A
			58.5	7.09	7.27	8.03	8.07	8.11	比布、愛別、当麻、上川	A
	大雪山	中央部	61.5	7.08	7.26	8.03	8.07	8.13		A
			51.1	7.09	7.24	8.08	8.12	8.16	東神楽、東川、美瑛	B
	富良野	南部	27.1	7.09	7.31	8.11	8.19	8.24	中富良野、上富良野、富良野	B
			30.1	7.09	7.28	8.09	8.15	8.21		B
	平均		50.2	7.08	7.28	8.05	8.11	8.17		
留萌	北留萌	北部	57.6	7.05	7.21	8.01	8.06	8.11	遠別	A
			66.2	7.10	7.27	8.04	8.09	8.13	初山別、羽幌、苫前	A
	南留萌	南部	54.1	7.07	7.25	8.02	8.06	8.09	小平、留萌、増毛	A
			60.8	7.09	7.26	8.03	8.08	8.11		A
平均		60.5	7.09	7.26	8.03	8.08	8.11			
後志	北後志	北部	29.7	7.13	7.31	8.11	8.15	8.19	余市、仁木、小樽、赤井川	B
			20.4	7.13	7.28	8.09	8.14	8.19	共和、俱知安、岩内、京極	B
	南後志	南部	11.4	7.14	8.01	8.14	8.19	8.23	蘭越、黒松内、島牧、寿都	B
			10.7	7.08	8.02	8.07	8.16	8.24	真狩、ニセコ、喜茂別	B
	平均		17.4	7.13	7.30	8.11	8.16	8.20		B
胆振	東胆振	東部	22.7	7.17	8.06	8.18	8.23	8.28	厚真、穂別、鶴川、追分、早来	C
			4.9	7.14	8.01	8.19	8.22	8.25	伊達、壮瞥	C
	西胆振	西部	2.3	7.12	8.01	8.18	8.24	8.31	豊浦、洞爺、虻田	C
			4.2	7.14	8.01	8.19	8.23	8.27		C
平均		22.0	7.17	8.05	8.18	8.23	8.28			
日高	西部	西部	20.9	7.18	8.09	8.19	8.24	8.27	日高、平取、門別	C
			9.9	7.15	8.08	8.18	8.22	8.24	新冠、静内	C
	東部	東部	20.8	7.18	8.08	8.21	8.24	8.27	三石、浦河、襟似	C
			15.2	7.17	8.08	8.20	8.23	8.26		C
平均		18.6	7.17	8.09	8.18	8.23	8.26			
渡島	北部	北部	0.5	7.19	8.12	8.24	8.27	8.31	長万部、八雲	C
			2.0	7.13	8.01	8.15	8.18	8.23	森	C
	中部	北部	1.2	7.16	8.06	8.20	8.24	8.28		C
			4.1	7.12	8.08	8.18	8.22	8.27	七飯、大野、上磯	C
	函館	南部	0.3	7.13	8.06	8.16	8.23	8.27	函館	C
			1.1	7.14	8.10	8.20	8.22	8.24	木古内、知内、福島、松前	C
	平均		2.7	7.13	8.08	8.18	8.22	8.26		
檜山	北部	北部	3.6	7.20	8.09	8.22	8.25	8.28	今金、瀬棚、北檜山、大成	C
			6.0	7.12	8.10	8.19	8.21	8.24	熊石、乙部、江差、厚沢部、上ノ国	C
	平均		4.5	7.17	8.07	8.20	8.23	8.26		
網走	斜網	西部	10.5	7.15	8.05	8.17	8.21	8.26	美幌、女満別	C
			15.7	7.15	8.08	8.17	8.21	8.26	北見、端野、訓子府	C
	平均		14.1	7.15	8.07	8.17	8.21	8.26		C
十勝	十勝	平均	1.5	7.12	8.08	8.18	8.23	8.29	池田	C
全道	平均	43.0	7.10	8.03	8.09	8.14	8.18			

注) 普及所別、地域別、支庁別の平均値は作付け品種の面積で加重平均とした。ランクA、B、Cは図I-12を参照。

なお、稔実歩合、生育期節等の各普及所調査(平成5年9月15日現在)結果は表I-9にとりまとめた。

2) 被害発生に関与した要因

このように、作況指数の地域間差は大きく、その主因は不稔歩合であった。そこで、不稔発生の地域間差と気

象要因の関係、特にどの発育ステージの低温が最も稔実歩合に影響したかについて検討した。なお、解析データは各支庁を2~4の地域に分けた時の23の地域別平均値(表I-9)と上川農試(1988~1993年)、中央農試稲作部(1989~1993年)、道南農試(1990~1993年)の作況試験の「きらら397」と「ゆきひきり」の平均値(省略)を加えて使用し、気象データは該当するアメダスの1~4地点の平均値とした。計38組のデータを使用して解析するに当たり、以下のモデルの適用を試みた。すなわち、稲の冷害危険期以前の前歴(幼穂形成期~止葉期の4日前まで)と穂ばらみ期(止葉期の3日前~3日後の7日間)の平均気温(各々 T_1 、 T_2)並びに開花期(出穂始め~出穂揃いまで)の最高気温(T_3)が、それぞれ単独に稔実歩合の低下に作用する程度(時期別の単独

効果; [$f_n(T_n)$; $n=1, 2, 3$])をS字型の(1)式とし、それら3者の積を最終的な推定稔実歩合(F)とする(2)式のモデルである。

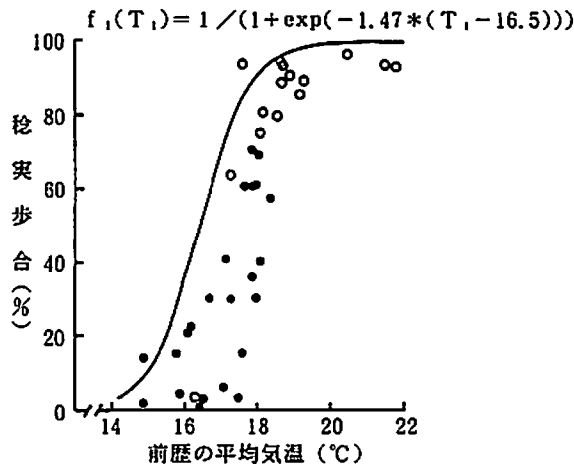
$$f_n(T_n) = 1 / (1 + \exp(-A_n(T_n - Th_n))) \dots (1)$$

(ただし $n=1, 2, 3$ 。 A_n 、 Th_n はシンプレックス法により推定誤差が最小となる最適パラメータ。)

$$F = f_1(T_1) \times f_2(T_2) \times f_3(T_3) \dots (2)$$

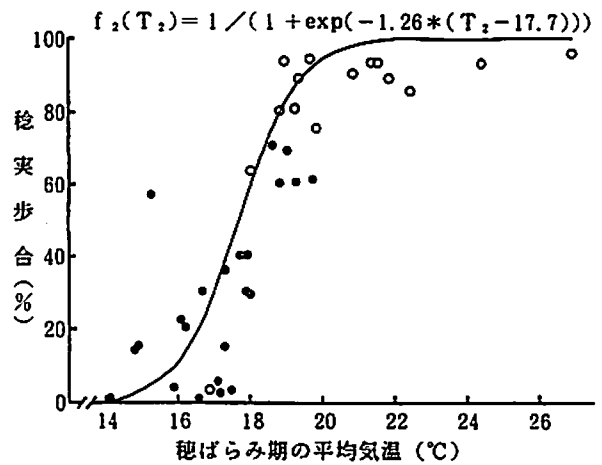
なお、このモデルは前歴の気温が不稔発生に単独に影響する点の実験的証明がないので、長期異常気象の平成5年冷害の解析に適用する一例として示した。

まず、最適パラメータの推定を行った。各時期の気温が単独に稔実歩合に及ぼす影響を実測稔実歩合を含めて図I-13~15に示した。実測値が実線より下に位置す



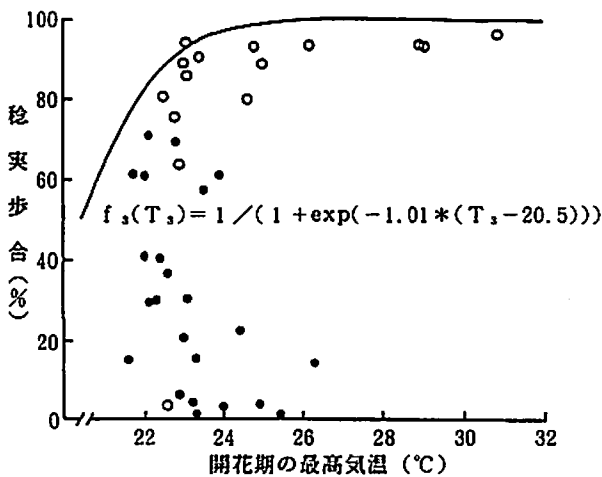
図I-13 前歴の平均気温 (T_1) と稔実歩合の関係 (田中ら、1993)

- 注1) ●: 1993年地域平均 ○: 農試作況
- 2) 稔実歩合は表I-9及び農試作況を参照。
- 3) 前歴: 幼穂形成期~止葉期4日前。



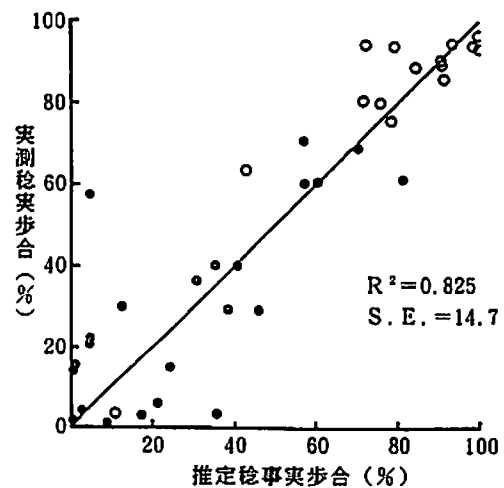
図I-14 穂ばらみ期の平均気温 (T_2) と稔実歩合の関係 (田中ら、1993)

- 注1) 稔実歩合は表I-9及び農試作況を参照。
- 2) 穂ばらみ期: 止葉期の3日前~3日後。



図I-15 開花期の最高気温 (T_3) と稔実歩合の関係 (田中ら、1993)

- 注1) 稔実歩合は表I-9及び農試作況を参照。
- 2) 開花期: 出穂始~出穂揃



図I-16 推定稔実歩合の適合度 (田中ら、1993)

- 注) 実測稔実歩合、推定稔実歩合は表I-9を参照。

るほど、他の時期の影響が大きかったことになる。図I-16には本モデルによる推定稔実歩合の適合度を示した。寄与率82.5%、平均推定誤差14.7%の精度が得られた。その中で、留萌北部と檜山北部で誤差が大きかった。

稔実歩合に及ぼす生育時期別気温の単独効果を表I-10に、その地帯別の平均値を表I-11に示した。地帯別平均値で見ると、地帯Aの稔実歩合は穂ばらみ期の気温の作用により71.0%、開花期の気温により88.0%、前歴の気温により90.2%となり、それぞれ単独に稔実に影響し、それらの積による最終的な稔実歩合は55.2%となった。したがって最終的な推定稔実歩合に及ぼす気温の影響は穂ばらみ期が最も大きく、開花期がこれに続き、前歴の影響はやや小さかった。

地帯Bにおいては、穂ばらみ期の46.4%が最も大きく、

前歴の80.9%、開花期の85.6%がこれに続いた。地帯Cにおいては、穂ばらみ期が17.5%で極めて大きな影響を与えており、前歴も40.7%とかなり影響し、開花期はほとんど影響しなかった。

その結果、地帯別の、各生育時期の気温が不稔発生に及ぼす影響の程度は

地帯A：穂ばらみ期が大、開花期がやや大、前歴がやや小であった。

地帯B：穂ばらみ期が大、前歴と開花期がやや大であった。

地帯C：穂ばらみ期が極大、前歴が大。開花期は大きな影響はなかった。

このことから、平成5年冷害における不稔発生要因の低温と稲の生育時期の関係は地帯により異なっているこ

表I-10 地域別生育期節、実測稔実歩合、各期間の気温および推定稔実歩合 (田中ら 1993)

支庁	地域	幼穂形成期 (月・日)	出穂期 (月・日)	稔実歩合			前歴		穂ばらみ期		開花期		備考
				実測 (%)	推定(F) (%)	差 (%)	平均気温 f ₁ (T ₁) (°C)	(%)	平均気温 f ₂ (T ₂) (°C)	(%)	最高気温 f ₃ (T ₃) (°C)	(%)	
石狩	北部	7.12	8.18	40.6	40.9	0	18.1	91.8	17.7	50.9	22.4	87.6	B
	中南部	7.15	8.19	30.3	12.4	18	16.7	58.7	16.7	22.7	23.1	93.5	B
空知	北部	7.08	8.06	69.4	70.6	-1	18.1	91.8	19.0	84.2	22.8	91.3	A
	北西部	7.10	8.12	61.1	60.5	1	17.9	89.2	19.2	87.3	21.7	77.7	A
	中央部	7.09	8.12	71.3	57.2	14	17.9	89.2	18.6	76.3	22.1	83.9	A
	南部	7.11	8.18	36.6	30.8	6	17.9	89.2	17.3	38.5	22.6	89.6	B
上川	北部	7.10	8.15	40.9	35.2	6	17.2	74.8	17.9	57.2	22.0	82.5	B
	中央部	7.08	8.07	61.5	81.5	-20	18.0	90.6	19.7	92.8	23.9	97.0	A
	南部	7.09	8.15	30.1	38.3	-8	17.3	77.4	17.9	57.2	22.3	86.4	B
留萌	北部	7.05	8.06	57.6	4.3	53	18.4	94.5	15.3	4.8	23.5	95.5	A
	南部	7.09	8.08	60.8	57.2	4	17.7	86.1	18.8	80.6	22.0	82.5	A
後志	北部	7.13	8.15	29.7	45.8	-16	18.0	90.6	18.0	60.2	22.1	83.9	B
	南部	7.13	8.16	15.2	24.6	-9	17.6	84.2	17.3	38.5	21.6	75.9	B
胆振	東部	7.17	8.23	22.7	4.8	18	16.2	40.5	16.1	12.1	24.4	98.1	C
	西部	7.14	8.23	4.2	2.8	1	15.9	30.5	15.9	9.7	23.2	94.0	C
日高	西部	7.18	8.24	20.9	4.6	16	16.1	37.0	16.2	13.5	23.0	92.8	C
	東部	7.17	8.23	15.2	0.8	14	15.8	27.4	14.9	2.9	23.3	94.6	C
渡島	北部	7.16	8.24	1.2	9.3	-8	16.4	47.7	16.6	20.6	23.3	94.6	C
	南部	7.13	8.22	3.0	17.8	-15	16.5	51.4	17.2	35.5	24.0	97.2	C
檜山	北部	7.20	8.25	3.6	36.2	-33	17.5	82.2	17.5	44.6	24.9	98.9	C
	南部	7.12	8.21	6.0	21.7	-16	17.1	71.9	17.1	32.7	22.9	92.1	C
網走		7.15	8.21	14.1	0.2	14	14.9	9.1	14.8	2.6	26.3	99.7	C
十勝		7.12	8.23	1.5	0.1	1	14.9	9.1	14.1	1.1	25.4	99.3	C

注1) 前歴：幼穂形成期～止葉期4日前、穂ばらみ期：止葉期3日前～3日後、開花期：出穂始～揃

2) 各生育時期の気温 (T₁・T₂：前歴、穂ばらみ期の平均気温、T₃：開花期の最高気温) が単独に作用し個別の稔実歩合 [f_n(T_n)；n=1, 2, 3] が決まり、それら3者の積が最終的な推定稔実歩合 (F) となる次式のモデルを適用した。

$$f_n(T_n) = 1 / (1 + \exp(-A_n \cdot (T_n - Th_n))) \quad (\text{ただし } n=1, 2, 3 \quad A_n, Th_n \text{ はパラメータ})$$

$$F = f_1(T_1) \times f_2(T_2) \times f_3(T_3)$$

寄与率 R²=0.825、平均推定誤差 S. E. =14.7

3) 備考欄は、出穂期と稔実歩合から大まかに3つのグループに分類したもの (図I-12を参照)。

4) 試験場の作況データについては、紙面の都合で割愛した。

とが明らかとなった。

3) 長期異常低温の影響

北海道農試のファイトトロンの実験によると、穂ばらみ期を含む出穂期前20日間の弱い低温処理(昼一夜: 25-12°C)を行うと、稔実歩合は7~54%に低下し、穂ばらみ期極低温処理(昼夜12°C 4日間)の稔実歩合17~73%に比べて、品種によってはより強い不稔障害の発生する場合のあることが認められている(表I-12)。このことから、平成5年においては長期異常低温の影響も大きかったものと推察される。

表I-11 前歴、穂ばらみ期、開花期の気温が稔実歩合に及ぼす影響 (1993)

地帯	稔実歩合		生育時期別気温が単独に影響した時の稔実歩合		
	実測 (%)	推定* F (%)	前歴 $f_1(T_1)$ (%)	穂ばらみ期 $f_2(T_2)$ (%)	開花期 $f_3(T_3)$ (%)
A	63.6	55.2	90.2	71.0	88.0
B	31.9	32.6	80.9	46.4	85.6
C	9.2	9.8	40.7	17.5	96.1

注1) 地帯A、B、Cは図I-12を参照。

2) データは地帯A、B、Cの計23点を個別に求め、その地帯別平均値である。表I-10参照。

表I-12 長期低温処理が稔実歩合に及ぼす影響 (北海道農試、1991改編)

品種名	無処理 25-19°C (22°C)	長期低温 25-12°C (16.9°C) 出穂前の 20日間*	短期低温 25-12°C (16.9°C) 穂ばらみ期 6日間	短期極低温 12-12°C (12°C) 穂ばらみ期 4日間
はやゆき	90%	38%	92%	73%
赤毛	85	54	77	23
ほうりゅう	88	35	69	27
農林20号	87	7	88	17

注) 昼一夜気温(平均気温)

低温処理期間以外は無処理温度で養成 *穂ばらみ期を含む。

(竹川昌和、田中英彦)