

Ⅲ. 水稻に対する影響

1. 目的

地球温暖化が水稻の生育・収量、品質や冷害発生リスクなどに及ぼす影響を予測する。

2. 方法

1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

中央農試（岩見沢市）、上川農試（旭川市、比布町）、道南農試（北斗市）における1985～2008年の水稻奨励品種決定基本調査（「きらら397」）での生育、収量、収量構成要素と同年次5～9月の気象データ（平均気温、最高気温、最低気温、日照時間）との関係を解析した。気象データには対象地点最寄りのアメダスデータを利用した。

2) 温暖化気候データによる生育・収量等の予測

(1) 移植日と出穂期の変化

水稻の移植日や出穂期は気温の影響を受けて変動することから、温暖化に伴うこれらの変化を検討する。

①対象地点

水稻優良品種地帯別作付指標における地帯区分(1～18)を考慮し、各地帯の代表地点として以下の18市町村を対象とした。江差町、北斗市、ニセコ町、共和町、伊達市、厚真町、恵庭市、長沼町、新篠津村、岩見沢市、深川市、雨竜町、小平町、士別市（士別）、旭川市、中富良野町、名寄市（風連）、北見市。

②対象品種

「きらら397」（中生品種、穂ばらみ期耐冷性「やや強」）。苗の種類は中苗と成苗。

③限界移植日、早限出穂期、晚限出穂期の推定

これらについては現行の作付指標策定時等に用いられている以下の方法（図Ⅲ－1）で推定した。

限界移植日：移植以降5日間の日最高最低平均気温が、中苗マットの場合は12.0℃、成苗ポットの場合は11.5℃となる日。

早限出穂期：出穂前24日以降30日間の日最高最低平均気温の平均値が20℃に達する日。これは、穂ばらみ期耐冷性やや強の品種（例えば「きらら397」）で稔実歩合を80%確保するのに必要な気温を得る初日となる。

晚限出穂期：出穂後40日間の日最高最低平均気温の積算値で750℃以上が確保できる日。これは千粒重が平均値より4分値偏差小さくなる時期で、軽い登熟不良を想定している。

安全出穂期間：両限界出穂期（早限出穂期と晚限

出穂期）の間の期間。

④出穂期の推定

堀江・中川（1990）に従い、DVR法を用いて気温から出穂期を推定した。DVR法では水稻の生育期を出芽時に0、幼穂形成期に1、出穂期に2の値をとるような発育指数DVIで表し、これを以下の1日当たり発育速度DVRの積算値として表現する。

$$DVI = \sum DVR$$

$$DVR = 1 / (1 + \exp(-A(T - T_h))) / G$$

ここで、T：日平均気温、A、Th、Gは品種固有のパラメータで、ここでは「きらら397」についての既報値（表Ⅲ－1）を用いた。また、計算開始日となる移植日は、現在および2030年代とも一律に5月25日とした。

表Ⅲ－1 「きらら397」の発育速度パラメータ

パラメータ	移植～ 幼穂形成期	幼穂形成期 ～出穂期
A	0.2861	0.2983
Th	17.07	15.85
G	28.95	20.93
中苗移植時DVI	0.3258	
成苗移植時DVI	0.4344	

中央農試・上川農試（1997）による。

⑤気候データ

表Ⅲ－2 北海道および東北北部地域における現在と2030年代の5～9月の日平均積算気温

県道 名	市町名	気象 種別	5～9月 日平均積算 気温（℃）
北海道	旭川市	現在	2512
北海道	旭川市	CCSR	2695
北海道	旭川市	CGCM1	2784
北海道	岩見沢市	現在	2542
北海道	岩見沢市	CCSR	2761
北海道	岩見沢市	CGCM1	2838
北海道	江差町	現在	2654
北海道	江差町	CCSR	2869
北海道	江差町	CGCM1	2891
青 森	十和田市	現在	2722
青 森	黒石市	現在	2850
岩 手	雫石町	現在	2807
岩 手	北上市	現在	2983
秋 田	大館市	現在	2901

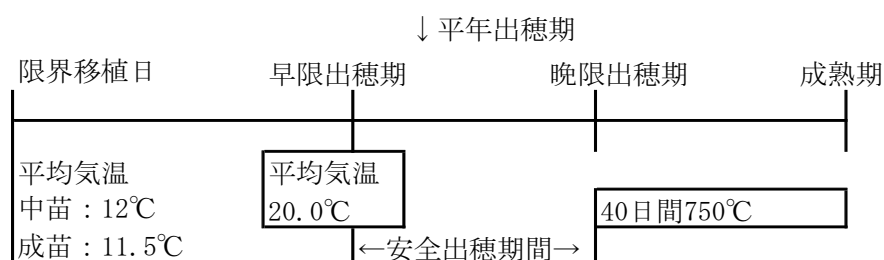
北海道はアメダスメッシュ、東北地域はアメダスポイントデータによる。

現在の気象データには約1km四方を平均化した3次メッシュ化されたアメダス平年値を、2030年代の気象データにはⅡ章で整備したCCSRおよびCGCM1による予測値を用いた。ただし、CCSRおよびCGCM1データは約10 km四方を平均化した2次メッシュデータであり、3次メッシュ化されたアメダス平年値とは空間スケールが異なるので直接比較ができない。そこで、対象地点とした市町村の重心直近の2次メッシュについて、2030年代予測値と現在の「メッシュ気候値2000」の2次メッシュ平均値との差を求めた後、その差を3次メッシュ化されたアメダス平年値に加算し、これを当該地点の2030年代の値として用いた。

5～9月の日平均積算気温からみると、現在の道内

主要稲作地帯の2030年代の気温は、現在の青森県に近似している（表Ⅲ－2）。

なお、限界移植日、早限出穂期、晩限出穂期の算出には、通常、日最高最低平均気温を用いているが、同気温はアメダス平均気温のような多数回測定値を総て平均した平均気温に比べ、7月をピークに高く5月半ばと9月半ばでほぼ同じとなり、それ以降と以前では低くなることが知られている。そこで、早限出穂期の算出にはアメダス平均気温に0.5℃を加えた値を、限界移植日と晩限出穂期についてはアメダス平均気温をそのまま用いることとした。



図Ⅲ－1 限界移植日、限界出穂期（早限出穂期、晩限出穂期）および安全出穂期間の関係

（２）食味関連形質の変化

米の食味に強く影響するアミロース含有率および蛋白質含有率は、水稻生育期間中の気温と密接な関係を有することから、温暖化によるこれら形質の変化を検討する。

①対象地点、対象品種および気象データ

（１）と同様。

②アミロース含有率および蛋白質含有率の推定

以下の式（丹野，2010）から推定した。

$$\text{アミロース含有率（\%）} = -0.0137x + 31.776$$

$$\text{蛋白質含有率（\%）} = 0.0000425(x - 849)^2 + 7.38$$

ここで、 x は出穂後40日間の日平均積算気温（登熟気温，℃）である。本式は1991～2006年にかけて道内うるち米作付地域の22ヶ所で行った「きらら397」の栽培試験データ236点から得たものである（付図Ⅲ－1）。また出穂期には（１）－④の方法で算出した推定値を与えた。

（３）穂ばらみ期（冷害危険期）の気温変動からみた冷害発生リスク

穂ばらみ期の低温は、不稔粒の発生を助長し、障害型冷害を引き起こすことから、温暖化による穂ばらみ期の気温変化を推定し、冷害発生リスクを検討する。

①対象地点

士別市、比布町（以上、上川地域）、深川市、岩見沢市（以上、空知地域）、厚真町（胆振地域）、北斗市（渡島地域）の6地点。

②対象品種

（１）と同様。

③穂ばらみ期の推定

（１）－④の方法でDVIを推定し、この値が1.4～1.7となる期間を穂ばらみ期とした²⁾。

④穂ばらみ期平均気温の算出

対象地点最寄りの過去23ヵ年（1978～2000年）のアメダスデータを用いて各年次の穂ばらみ期の平均気温を算出し、その頻度分布を得た。次いでこのアメダスデータに（１）－⑤と同様の方法で得た2030年代と現在との気温差を加算して2030年代の穂ばらみ期を推定するとともに、同期間の平均気温を求め、その頻度分布の変化を検討した。

（４）収量性

①対象地点および気象データ

（１）と同様。

②評価方法

以下の2つの方法による。

ア) 方法A

村田（1964）⁴⁾を参考に、出穂前10日以降40日間の平均気温が25℃以下である9つの道県について、過去15年間（1994～2008年）の道県別の平均収量⁵⁾と同期間の平均気温および日射量との関係から求めた以下の式を用いた（付図Ⅲ－3）。

$$y = s(3.335 - 0.0415(t - 22.8)^2)$$

ここで、y：収量（kg/10a）、s：出穂前10日以降40日間の平均日射量（W/m²）、t：出穂前10日以降40日間の平均気温（℃）である。

イ）方法B（気候登熟量示数）

内島（1983）⁶⁾を参考に、日本全国の水稲奨励品種決定試験成績データを用いて林ら⁷⁾が算出した以下の式を用いた。

$$y = s(1.28 - 0.0192(21.9 - t)^2)$$

ここで、y：気候登熟量示数（kg/10a）、s：出穂後40日間の積算日射量（MJ/m²）、t：出穂後40日間の平均気温（℃）である。この式は、供試データの中で同一のtに対してy/sが最も高いデータのものに適合するように算出していることから、潜在的な収量性を示すと考えられる。

なお、いずれの方法においても、出穂期には（1）－④の方法で算出した推定値を与えた。

（5）直播栽培における出穂期

一般に、北海道の直播栽培水稲は移植栽培よりも出穂期が遅く、登熟気温も低くなるため、収量や品質が不安定になりやすい。温暖化はこのような直播栽培の不安定性を緩和する可能性をもつことから、温暖化に伴う直播水稲の出穂期の変化を検討する。

①対象地点および気象データ

（1）と同様。2030年代の風速、日照時間は現在と同じと仮定した。

②対象品種

「ゆきまる」（早生）、「きらら397」（中生）

③算出法

水稲直播マップ作成方法^{8, 9)}を参考に、以下に示す簡易有効気温 θ （℃）を用いて出穂期を推定した。

$$\theta = (a - b) / (1 + T_{\text{mean}}/c)^b + d$$

ここで、T_{mean}：日平均気温（℃）、a=55.89942、b=-4.165141、c=21.84576、d=0.9107297。

また、T_{mean}は以下の式で求めた。

$$T_{\text{mean}} = (2.3 + 0.86T_h + 0.55S - 1.49W + T_{\text{min}}) / 2$$

ここで、T_h：日最高気温、S：日照時間、W：日平均風速、T_{min}：日最低気温。

播種翌日から出穂期までに要する簡易有効気温の積算値は、「ゆきまる」では1031℃、「きらら397」では1111℃と報告されている^{8, 9)}ので、播種以降の毎日の簡易有効気温を求め、その積算値が上記の値に達した日を各品種の出穂期とした。なお、播種日は水稲直播マップと同じく5月10日とした。

3. 結果と考察

1）気象要因と生育・収量等の関係解析

（1）各試験場別に見た気象と水稲収量との関係

各場における収量と6～9月の平均気温、最高気温、最低気温および日照時間との相関は、道南農試では7月の気温と有意な関係（ $r=0.624^{**} \sim 0.694^{**}$ 、いずれも $n=24$ 、以下同じ）が認められたが、中央農試及び上川農試では判然としなかった（表Ⅲ－3）。

表Ⅲ－3 収量と月別気温（平均、最高、最低）および日照時間との相関係数（1985～2008年）

試験場名	気象要素	5月	6月	7月	8月	9月
中央農試 (n=24)	平均気温	0.150	0.368	0.335	0.266	0.221
	最高気温	0.068	0.371	0.317	0.268	0.304
	最低気温	0.287	0.283	0.381	0.243	0.090
	日照時間	-0.088	0.113	-0.174	0.239	0.141
上川農試 (n=24)	平均気温	-0.093	-0.066	0.317	0.003	0.154
	最高気温	-0.151	-0.122	0.174	-0.008	0.140
	最低気温	-0.029	0.048	0.330	-0.001	0.078
	日照時間	0.009	-0.091	-0.078	0.063	0.083
道南農試 (n=24)	平均気温	0.047	0.009	0.660 **	0.382	0.295
	最高気温	-0.085	0.095	0.624 **	0.332	0.333
	最低気温	0.158	-0.136	0.694 **	0.405 *	0.239
	日照時間	-0.037	0.175	0.009	-0.030	0.116
3場 (n=72)	平均気温	0.061	0.210	0.558 **	0.158	-0.135
	最高気温	0.133	0.339 **	0.591 **	0.269 *	0.064
	最低気温	-0.080	-0.056	0.386 **	0.035	-0.188
	日照時間	-0.007	0.170	0.109	0.117	0.097

*, **: 各々5%, 1%水準で有意。

（2）収量、収量構成要素と月別平均気温との関係 各場における収量と収量構成要素との相関は、上

川農試及び道南農試では登熟歩合と有意な関係（ $r=0.664^{**} \sim 0.903^{**}$ 、 $n=24$ 、以下同じ）が認められ

たが、中央農試ではいずれの収量構成要素とも有意な関係は認められなかった。各場における収量構成要素と6～9月の月平均気温との相関は、全ての農試で千粒重と7月の平均気温との間に有意な関係が認められた ($r=0.475^{**} \sim 0.517^{**}$)。また道南農試では登熟歩合と7月の平均気温との間に有意な関係が認められ ($r=0.555^{**}$)、7月の気温による不稔の発生が登熟歩合に影響していることが推察された (表Ⅲ-4)。

以上のことから、収量に対して、7月の気温の影響が最も大きく、それは不稔歩合と千粒重に影響すること、また収量を月別気象値から精度良く推定することは困難と思われた。

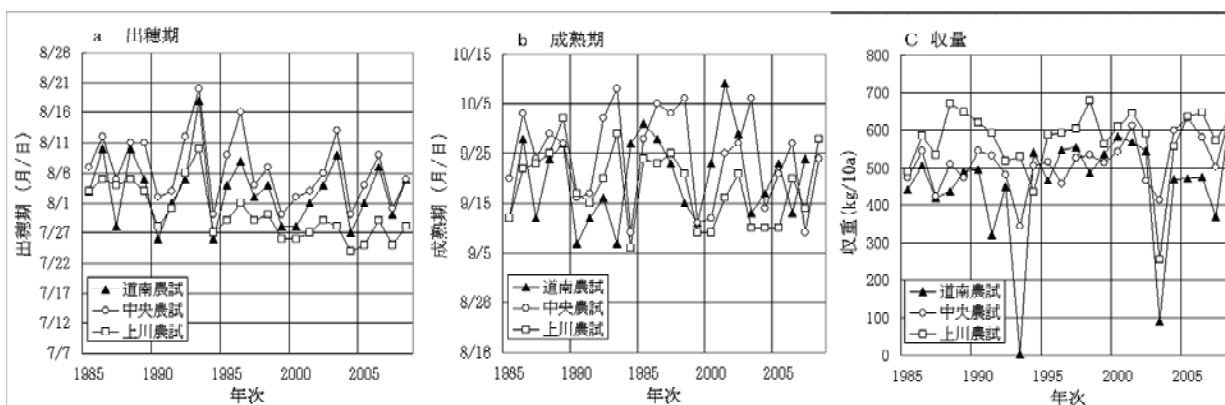
(3) 月別気温と生育・収量の経年変化

上川農試、中央農試および道南農試での6～9月の最低、平均、最高気温の経年変化を検討したところ、いずれの試験地と月においても、この24年間に明らかな年次変化の傾向は認められず、夏季の気温に昇温傾向は認められなかった (図省略)。さらに、「きらら397」の出穂期、成熟期、収量および収量構成要素についても、上川農試では、出穂期の早期化と総粒数減少に伴う登熟歩合の向上の傾向がみられるが、その他の試験地や形質では、明らかな年次変化の傾向は認められなかった (図Ⅲ-2、図Ⅲ-3)。このように、近年の24年間に限定すれば、水稻の作柄に影響が大きい夏季の気温および水稻の生育に年次による一定の傾向は認められなかった。

表Ⅲ-4 収量構成要素と収量および月別平均気温との相関係数 (1985～2008年)

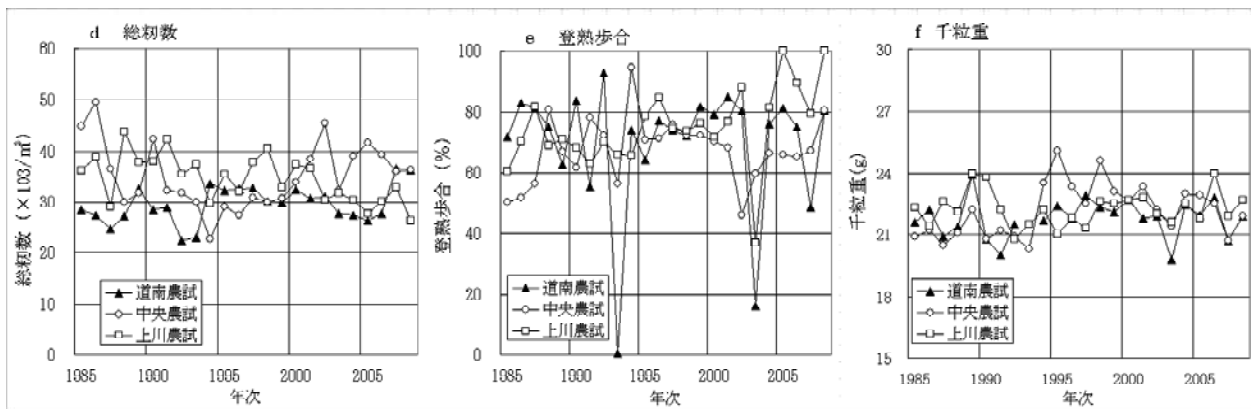
試験場名	構成要素	収量	5月	6月	7月	8月	9月
中央農試 (n=24)	穂数	0.324	0.005	0.329	-0.193	0.074	-0.037
	1 穂粒数	0.061	0.008	-0.261	-0.046	0.008	-0.170
	総粒数	0.305	0.040	0.086	-0.189	0.090	-0.186
	登熟歩合	0.348	0.036	0.256	0.351	0.195	0.354
	千粒重	0.395	0.189	-0.227	0.479 *	0.014	0.220
上川農試 (n=24)	穂数	-0.044	0.224	-0.021	-0.266	-0.061	-0.128
	1 穂粒数	0.284	0.069	-0.064	-0.027	0.110	-0.085
	総粒数	0.276	0.175	-0.066	-0.153	0.096	-0.123
	登熟歩合	0.664 **	-0.289	0.012	0.303	-0.158	0.127
	千粒重	0.366	0.297	-0.039	0.517 **	0.405 *	0.532 **
道南農試 (n=24)	穂数	0.032	0.000	0.059	0.002	-0.011	0.183
	1 穂粒数	0.601 **	0.232	0.028	0.470 *	0.268	0.248
	総粒数	0.503 *	0.182	0.086	0.381	0.223	0.383
	登熟歩合	0.903 **	0.004	0.086	0.555 **	0.352	0.181
	千粒重	0.703 **	-0.112	-0.382	0.475 *	0.375	0.107
3場 (n=72)	穂数	0.310 **	0.098	0.320 **	0.074	-0.042	-0.361 **
	1 穂粒数	0.199	0.089	-0.151	0.062	0.130	0.109
	総粒数	0.420 **	0.158	0.162	0.114	0.085	-0.230
	登熟歩合	0.734 **	-0.077	0.140	0.446 **	0.122	0.034
	千粒重	0.515 **	0.159	-0.122	0.509 **	0.207	0.061

*, **: 各々 5 %, 1 %水準で有意。



図Ⅲ-2 1985～2008年における「きらら397」の出穂期、成熟期および収量の推移

年次との相関係数は、道南農試、中央農試、上川農試でそれぞれ、出穂期が $r=0.134$, 0.313 , 0.721^{**} , 成熟期が $r=0.166$, 0.179 , 0.269 , 収量が $r=0.116$, 0.449^{*} , 0.037 (いずれも $n=24$)。



図Ⅲ－3 1985～2008年における「きらら397」の収量構成要素の推移

年次との相関係数は、道南農試、中央農試、上川農試でそれぞれ、総粒数が $r=0.395^*$ 、 0.016 、 -0.582^{**} 、登熟歩合が $r=-0.058$ 、 0.147 、 0.452^* 、千粒重が $r=0.062$ 、 0.346 、 0.073 （いずれも $n=24$ ）。

2) 温暖化気候データによる生育・収量等の予測

(1) 限界移植日の変化

2030年代の限界移植日（移植早限）は、中苗、成

苗ともに、CCSRおよびCGCM1でそれぞれ18地帯平均で14、13日早まり、現在の5月19～22日が5月5～9日程度になると予測された（表Ⅲ－5）。

表Ⅲ－5 現在および2030年代における水稻の中苗、成苗の限界移植日

地帯 番号	地域	市町村名	現在		CCSR			CGCM1		
			中苗	成苗	中苗	差異	成苗	中苗	差異	成苗
1	檜山	江差町	5/20	5/16	5/4	16	4/30	5/7	16	5/4
2	渡島	北斗市	5/22	5/18	5/2	20	4/29	5/5	20	5/2
3	後志	ニセコ町	5/22	5/19	5/8	14	5/6	5/10	14	5/8
4	後志	共和町	5/20	5/16	5/4	16	4/30	5/6	16	5/3
5	胆振	伊達市	5/22	5/18	5/5	17	5/2	5/7	17	5/4
6	胆振	厚真町	5/27	5/23	5/11	16	5/7	5/12	16	5/9
7	石狩	恵庭市	5/22	5/19	5/9	13	5/6	5/10	13	5/7
8	石狩	長沼町	5/20	5/17	5/6	14	5/4	5/7	14	5/4
9	石狩	新篠津村	5/23	5/20	5/9	14	5/7	5/10	14	5/7
10	空知	岩見沢市	5/21	5/17	5/7	14	5/5	5/7	14	5/4
11	空知	深川市	5/20	5/17	5/7	13	5/4	5/6	13	5/4
12	空知	雨竜町	5/20	5/18	5/9	11	5/6	5/8	11	5/6
13	留萌	小平町	5/24	5/21	5/11	13	5/9	5/11	13	5/9
14	上川	士別市士別	5/24	5/21	5/12	12	5/9	5/11	12	5/9
15	上川	旭川市	5/20	5/18	5/9	11	5/6	5/8	11	5/6
16	上川	中富良野町	5/19	5/16	5/7	12	5/5	5/7	12	5/4
17	上川	名寄市風連	5/27	5/24	5/14	13	5/11	5/13	13	5/10
18	網走	北見市	5/26	5/23	5/12	14	5/9	5/9	14	5/7
平均			5/22	5/19	5/8	14	5/5	5/9	14	5/6
参考	宗谷	中頓別	6/2	5/30	5/20	13	5/16	5/18	13	5/15
参考	釧路	弟子屈町	6/14	6/9	5/30	15	5/24	5/23	15	5/19
参考	根室	中標津	6/16	6/9	5/29	18	5/24	5/22	18	5/18

現在の気象データは各市町村の代表的な稲作地のアメダスメッシュポイント。差異は現在との差異。

(2) 出穂期の変化

早限および晩限出穂期を18地帯の平均値でみると、CCSRでは現在に比べ早限が10日早く、晩限が9日遅くなり、その結果、安全出穂期間は13日から32日へと19日長くなる（表Ⅲ－6）。また、CGCM1では早限と晩限がさらに3～4日それぞれ早い遅くな

り、安全出穂期間は38日とより長くなる。

地域的な特徴をみると、北海道の稲作地域でも最も気象条件が厳しい北見市では、CCSRで安全出穂期間が14日であり、これは現在での旭川市と恵庭市に相当する。また、CGCM1では北見市は26日となり、現在で最も長い江差町の29日を除けば、現在のいず

れの市町村よりも長くなる。

出穂期は、18地帯の平均で中苗、成苗とも現在に比べCCSRで6～7日、CGCM1では9日早くなる。最も遅い北見市でもCCSRで現在の岩見沢市やニセコ町並となり、CGCM1ではさらに現在のどの地帯よりも早くなる。なお、これらの試算はすべて移植日を5月25日とした場合であるが、前述の表Ⅲ－5の結果を勘案し、5月10日を移植日として出穂日を推定したところ、さらに5日早くなると見積もられた(表Ⅲ－7)。

(3) 食味関連性質の変化

すでに指摘したように、2030年代には現在より出穂期が6～9日早まり、また同一暦日でも気温が上昇するため、登熟気温は65～108℃高くなる。そのため、登熟気温と負の相関を持つ精米アミロース含有率は低下し、18地帯平均で現在よりも0.9～1.5%低くなる。精米蛋白質含有率については850℃前後に最低となる二次関数の関係が認められており、成苗で0.2、中苗で0.3%低くなる(表Ⅲ－8)。

一方、2030年代の出穂期を地帯を問わず8月1日ま

たは10日と一律に仮定すると、8月1日の場合の両含有率は、出穂期を任意とした時の予測結果とほぼ同じである。しかし、出穂期が8月10日と遅くなると両含有率は高まり、とくにアミロース含有率でその程度が大きく、登熟気温の増大によるアミロース含有率低減効果は小さくなる(表Ⅲ－9)。このことは、将来においても、食味向上には早期出穂と出穂期の変動幅縮減が重要であることを示唆している。

さらに、出穂期の連続的な変化が両含有率に与える影響(図Ⅲ－4)をみると、2030年代のアミロース含有率は、出穂期が遅くなるに伴い現在と平行して高まるが、現在よりも常に低い値で推移する。蛋白質含有率は出穂期が早いと現在よりも高まる場合もあるが、7月末以降の出穂であれば現在よりも低下する。すなわち、2030年代では7月末以降のいずれの出穂期においても現在より良食味化が見込まれ、また同期間では出穂が早いほど良食味が期待できる。

表Ⅲ－6 現在および2030年代における限界出穂期、安全出穂期および出穂期推定

地帯 番号	地域	市町村名	現在					CCSR										
			限界出穂期		安全 出穂 期間	出穂期		限界出穂期				安全 出穂 期間	同左 差異	出穂期				同左 差異
			早限 出穂	晚限 出穂		中苗	成苗	早限 出穂	同左 差異	晚限 出穂	同左 差異			中苗	同左 差異	成苗	同左 差異	
1	檜山	江差町	7/23	8/21	29	8/5	8/1	7/15	8	9/2	12	49	20	7/31	5	7/27	5	
2	渡島	北斗市	7/30	8/17	18	8/9	8/5	7/18	12	8/30	13	43	25	8/1	8	7/28	8	
3	後志	ニセコ町	7/27	8/8	12	8/7	8/3	7/17	10	8/11	3	25	13	7/31	7	7/27	7	
4	後志	共和町	7/24	8/14	21	8/6	8/1	7/16	8	8/25	11	40	19	7/31	6	7/27	5	
5	胆振	伊達市	7/30	8/15	16	8/10	8/5	7/18	12	8/28	13	41	25	8/1	9	7/28	8	
6	胆振	厚真町	8/7	8/7	0	8/13	8/9	7/24	14	8/19	12	26	26	8/5	8	8/1	8	
7	石狩	恵庭市	7/28	8/11	14	8/8	8/4	7/20	8	8/20	9	31	17	8/2	6	7/29	6	
8	石狩	長沼町	7/28	8/12	15	8/8	8/3	7/17	11	8/21	9	35	20	8/1	7	7/27	7	
9	石狩	新篠津村	7/30	8/9	10	8/9	8/4	7/19	11	8/20	11	32	22	8/2	7	7/29	6	
10	空知	岩見沢市	7/27	8/12	16	8/7	8/3	7/16	11	8/21	9	36	20	7/31	7	7/27	7	
11	空知	深川市	7/19	8/10	22	8/8	8/4	7/10	9	8/21	11	42	20	8/1	7	7/28	7	
12	空知	雨竜町	7/24	8/8	15	8/5	8/1	7/16	8	8/15	7	30	15	7/31	5	7/27	5	
13	留萌	小平町	7/29	8/8	10	8/11	8/5	7/23	6	8/16	8	24	14	8/5	6	7/31	5	
14	上川	士別市士別	7/28	8/3	6	8/8	8/3	7/19	9	8/10	7	22	16	8/2	6	7/29	5	
15	上川	旭川市	7/23	8/6	14	8/5	7/31	7/15	8	8/11	5	27	13	7/30	6	7/26	5	
16	上川	中富良野町	7/22	8/7	16	8/4	7/31	7/14	8	8/13	6	30	14	7/30	5	7/25	6	
17	上川	名寄市風連	7/29	8/2	4	8/9	8/5	7/19	10	8/11	9	23	19	8/3	6	7/29	7	
18	網走	北見市	8/5	8/3	-2	8/13	8/9	7/27	9	8/10	7	14	16	8/7	6	8/2	7	
平均			7/28	8/10	13	8/8	8/4	7/18	10	8/19	9	32	19	8/2	7	7/28	6	
参考	宗谷	中頓別	-	7/28	-	8/21	8/16	8/3	-	8/7	10	4	-	8/12	9	8/7	9	
参考	釧路	弟子屈町	-	-	-	9/4	8/29	-	-	7/29	-	-	-	8/23	12	8/15	14	
参考	根室	中標津	-	-	-	9/4	8/28	-	-	7/29	-	-	-	8/23	12	8/18	10	

限界出穂期と出穂期は月日、安全出穂期間は日。現在の気象は、各市町村の代表的稲作地のアメダスメッシュポイントのデータ。同左差異は現在の値との差異(日)。移植日は5月25日。

表Ⅲ－6 続き

地帯 番号	地域	市町村名	CGCM1									
			限界出穂期				安全 同左		出穂期			
			早限 出穂	同左 差異	晩限 出穂	同左 差異	出穂 期間	同左 差異	中苗 差異	同左 差異	成苗 差異	同左 差異
1	檜山	江差町	7/14	9	9/3	13	51	22	7/30	6	7/26	6
2	渡島	北斗市	7/16	14	8/31	14	46	28	7/31	9	7/27	9
3	後志	ニセコ町	7/15	12	8/12	4	28	16	7/30	8	7/26	8
4	後志	共和町	7/14	10	8/27	13	44	23	7/30	7	7/26	6
5	胆振	伊達市	7/16	14	8/29	14	44	28	7/31	10	7/27	9
6	胆振	厚真町	7/21	17	8/21	14	31	31	8/3	10	7/30	10
7	石狩	恵庭市	7/17	11	8/22	11	36	22	8/1	7	7/27	8
8	石狩	長沼町	7/14	14	8/23	11	40	25	7/29	10	7/25	9
9	石狩	新篠津村	7/15	15	8/22	13	38	28	7/31	9	7/26	9
10	空知	岩見沢市	7/11	16	8/23	11	43	27	7/28	10	7/24	10
11	空知	深川市	7/4	15	8/24	14	51	29	7/29	10	7/24	11
12	空知	雨竜町	7/10	14	8/18	10	39	24	7/28	8	7/24	8
13	留萌	小平町	7/19	10	8/20	12	32	22	8/2	9	7/29	7
14	上川	士別市士別	7/13	15	8/15	12	33	27	7/29	10	7/25	9
15	上川	旭川市	7/9	14	8/15	9	37	23	7/27	9	7/23	8
16	上川	中富良野町	7/8	14	8/16	9	39	23	7/26	9	7/23	8
17	上川	名寄市風連	7/13	16	8/15	13	33	29	7/30	10	7/26	10
18	網走	北見市	7/20	16	8/15	12	26	28	8/2	11	7/29	11
平均			7/14	14	8/21	12	38	25	7/30	9	7/26	9
参考	宗谷	中頓別	7/27	-	8/13	16	17	-	8/7	14	8/3	13
参考	釧路	弟子屈町	8/5	-	8/8	-	3	-	8/13	22	8/9	20
参考	根室	中標津	8/10	-	8/11	-	1	-	8/16	19	8/11	17

2010年での比布町（旭川市近隣）と岩見沢市における早限出穂期：6/26，6/29，晩限出穂期：8/18，8/24，中苗と成苗の推定出穂期：7/25と7/21，7/28と7/24。

表Ⅲ－7 移植日の前進が2030年代の出穂期に及ぼす影響（月/日）

地域	市町村名	現在		CCSR				CGCM1			
		5/25移植		5/25移植		5/10移植		5/25移植		5/10移植	
		中苗	成苗	中苗	成苗	中苗	成苗	中苗	成苗	中苗	成苗
渡島	北斗市	8/9	8/5	8/1	7/28	7/26	7/22	7/31	7/27	7/26	7/22
空知	岩見沢市	8/7	8/3	7/31	7/27	7/26	7/22	7/28	7/24	7/23	7/19
上川	旭川市	8/5	7/31	7/30	7/26	7/25	7/21	7/27	7/23	7/22	7/18
網走	北見市	8/13	8/9	8/7	8/2	8/2	7/29	8/2	7/29	7/29	7/24
平均		8/9	8/4	8/2	7/29	7/28	7/24	7/30	7/26	7/25	7/21

表Ⅲ－6を参照。

表Ⅲ－８ 現在および2030年代における精米アミロース含有率（％）と蛋白質含有率（％）の推定値

地帯 地域 市町村名 番号	現在						CCSR											
	中苗			成苗			中苗						成苗					
	登熟 気温 ℃	アミ ロース含 有率	蛋白 含有率	登熟 気温 ℃	アミ ロース含 有率	蛋白 含有率	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース含 有率	同左 差異	蛋白 含有率	同左 差異	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース含 有率	同左 差異	蛋白 含有率	同左 差異
1 檜山 江差町	840	20.3	7.4	854	20.1	7.4	901	61	19.4	-0.8	7.5	0.1	907	53	19.4	-0.7	7.5	0.1
2 渡島 北斗市	795	20.9	7.5	812	20.7	7.4	884	89	19.7	-1.2	7.4	-0.1	890	78	19.6	-1.1	7.4	0.0
3 後志 ニセコ町	759	21.4	7.7	781	21.1	7.6	828	69	20.4	-0.9	7.4	-0.3	848	67	20.2	-0.9	7.4	-0.2
4 後志 共和町	802	20.8	7.4	824	20.5	7.4	876	74	19.8	-1.0	7.4	-0.1	884	60	19.7	-0.8	7.4	0.0
5 胆振 伊達市	781	21.1	7.6	802	20.8	7.4	870	89	19.9	-1.2	7.4	-0.2	878	76	19.7	-1.0	7.4	-0.1
6 胆振 厚真町	720	21.9	8.1	742	21.6	7.8	818	98	20.6	-1.3	7.4	-0.7	830	88	20.4	-1.2	7.4	-0.5
7 石狩 恵庭市	771	21.2	7.6	790	21.0	7.5	842	71	20.2	-1.0	7.4	-0.3	853	63	20.1	-0.9	7.4	-0.1
8 石狩 長沼町	772	21.2	7.6	795	20.9	7.5	848	76	20.2	-1.0	7.4	-0.3	861	66	20.0	-0.9	7.4	-0.1
9 石狩 新篠津村	753	21.5	7.7	778	21.1	7.6	836	83	20.3	-1.1	7.4	-0.4	848	70	20.2	-1.0	7.4	-0.2
10 空知 岩見沢市	777	21.1	7.6	795	20.9	7.5	849	72	20.1	-1.0	7.4	-0.2	859	64	20.0	-0.9	7.4	-0.1
11 空知 深川市	795	20.9	7.5	813	20.6	7.4	878	83	19.7	-1.1	7.4	-0.1	885	72	19.7	-1.0	7.4	0.0
12 空知 雨竜町	768	21.3	7.6	788	21.0	7.5	829	61	20.4	-0.8	7.4	-0.3	842	54	20.2	-0.7	7.4	-0.2
13 留萌 小平町	737	21.7	7.9	769	21.2	7.6	801	64	20.8	-0.9	7.5	-0.4	819	50	20.6	-0.7	7.4	-0.2
14 上川 士別市	723	21.9	8.0	752	21.5	7.8	794	71	20.9	-1.0	7.5	-0.5	810	58	20.7	-0.8	7.4	-0.3
15 上川 旭川市	758	21.4	7.7	784	21.0	7.5	816	58	20.6	-0.8	7.4	-0.3	831	47	20.4	-0.6	7.4	-0.2
16 上川 中富良野町	769	21.2	7.6	790	21.0	7.5	829	60	20.4	-0.8	7.4	-0.3	847	57	20.2	-0.8	7.4	-0.1
17 上川 名寄市	713	22.0	8.1	738	21.7	7.9	793	80	20.9	-1.1	7.5	-0.7	813	75	20.6	-1.0	7.4	-0.5
18 網走 北見市	697	22.2	8.3	721	21.9	8.1	765	68	21.3	-0.9	7.7	-0.7	784	63	21.0	-0.9	7.5	-0.5
平均	763	21.3	7.7	785	21.0	7.6	837	74	20.3	-1.0	7.4	-0.3	849	65	20.1	-0.9	7.4	-0.2

登熟気温による精米のアミロース含有率と蛋白含有率の推定式は、丹野（2010）による。現在の気象は各市町村の代表的な稲作地のアメダスメッシュのデータ。登熟気温は出穂後40日間の日平均積算気温。同左差異は現在値との差異。移植日は5月25日。出穂日は表Ⅲ－6を参照。

地帯 地域 市町村名 番号	CGCM1											
	中苗						成苗					
	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース含 有率	同左 差異	蛋白 含有率	同左 差異	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース含 有率	同左 差異	蛋白 含有率	同左 差異
1 檜山 江差町	922	82	19.1	-1.1	7.6	0.2	926	72	19.1	-1.0	7.6	0.2
2 渡島 北斗市	904	109	19.4	-1.5	7.5	0.0	910	98	19.3	-1.3	7.5	0.1
3 後志 ニセコ町	851	92	20.1	-1.3	7.4	-0.3	871	90	19.8	-1.2	7.4	-0.2
4 後志 共和町	899	97	19.5	-1.3	7.5	0.0	907	83	19.4	-1.1	7.5	0.1
5 胆振 伊達市	891	110	19.6	-1.5	7.4	-0.1	898	96	19.5	-1.3	7.5	0.0
6 胆振 厚真町	845	125	20.2	-1.7	7.4	-0.7	857	115	20.0	-1.6	7.4	-0.5
7 石狩 恵庭市	866	95	19.9	-1.3	7.4	-0.2	879	89	19.7	-1.2	7.4	-0.1
8 石狩 長沼町	878	106	19.7	-1.5	7.4	-0.2	887	92	19.6	-1.3	7.4	-0.1
9 石狩 新篠津村	864	111	19.9	-1.5	7.4	-0.4	877	99	19.8	-1.4	7.4	-0.2
10 空知 岩見沢市	885	108	19.7	-1.5	7.4	-0.2	893	98	19.5	-1.3	7.4	0.0
11 空知 深川市	914	119	19.3	-1.6	7.5	0.1	922	109	19.1	-1.5	7.6	0.2
12 空知 雨竜町	870	102	19.9	-1.4	7.4	-0.3	882	94	19.7	-1.3	7.4	-0.1
13 留萌 小平町	843	106	20.2	-1.5	7.4	-0.5	855	86	20.1	-1.2	7.4	-0.3
14 上川 士別市	842	119	20.2	-1.6	7.4	-0.7	855	103	20.1	-1.4	7.4	-0.4
15 上川 旭川市	859	101	20.0	-1.4	7.4	-0.4	871	87	19.8	-1.2	7.4	-0.2
16 上川 中富良野町	875	106	19.8	-1.5	7.4	-0.2	883	93	19.7	-1.3	7.4	-0.1
17 上川 名寄市	841	128	20.3	-1.8	7.4	-0.8	855	117	20.1	-1.6	7.4	-0.5
18 網走 北見市	817	120	20.6	-1.6	7.4	-0.9	831	110	20.4	-1.5	7.4	-0.7
平均	870	108	19.9	-1.5	7.4	-0.3	881	96	19.7	-1.3	7.4	-0.2

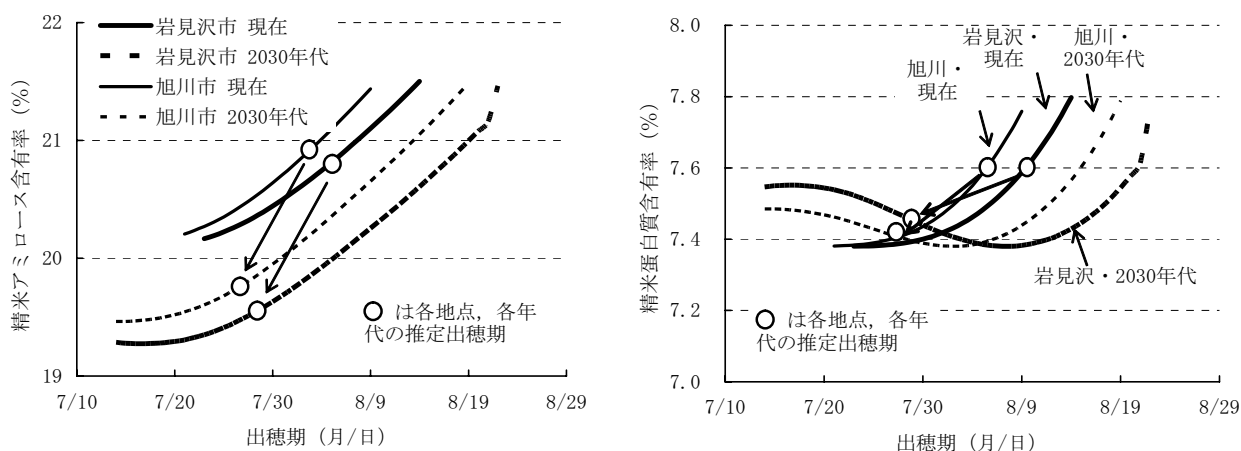
2010年の比布町（旭川市近隣）、岩見沢市における登熟気温（℃）はそれぞれ中苗：915、947、成苗：906、943、アミロース含有率（％）は中苗：19.2、18.8、成苗：19.4、18.9、蛋白含有率（％）は中苗：7.5、7.8、成苗：7.5、7.7。

表Ⅲ－9 出穂期の変動が2030年代の精米アミロース含有率および蛋白質含有率に及ぼす影響

地域 市町村名	現在				CCSR				CGCM1			
	出穂期	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率	出穂期	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率	出穂期	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率
	月日	℃	率%	%	月日	℃	率%	%	月日	℃	率%	%
渡島 北斗市	8/7	804	20.8	7.5	7/30	887	19.7	7.4	7/29	907	19.4	7.5
空知 岩見沢市	8/5	786	21.0	7.6	7/29	854	20.1	7.4	7/26	889	19.6	7.4
上川 旭川市	8/3	771	21.2	7.6	7/28	824	20.5	7.4	7/25	865	19.9	7.4
網走 北見市	8/11	709	22.1	8.2	8/5	775	21.2	7.6	7/31	824	20.5	7.4
平均	8/7	768	21.3	7.7	7/31	835	20.4	7.5	7/28	871	19.9	7.4

地域 市町村名	CCSR 8/1出穂			CCSR 8/10出穂			CGCM1 8/1出穂			CGCM1 8/10出穂		
	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率	登熟気温	アミロース含有率	蛋白質含有率
	℃	率%	%	℃	率%	%	℃	率%	%	℃	率%	%
渡島 北斗市	884	19.7	7.4	856	20.0	7.4	901	19.4	7.5	870	19.9	7.4
空知 岩見沢市	846	20.2	7.4	809	20.7	7.4	873	19.8	7.4	833	20.4	7.4
上川 旭川市	808	20.7	7.4	761	21.4	7.7	838	20.3	7.4	788	21.0	7.5
網走 北見市	787	21.0	7.5	753	21.5	7.7	821	20.5	7.4	777	21.1	7.6
平均	831	20.4	7.4	795	20.9	7.6	858	20.0	7.4	817	20.6	7.5

登熟気温による精米のアミロース含有率と蛋白質含有率の推定式は、丹野（2010）による。現在の気象は各市町村の代表的な稲作地のアメダスメッシュのデータ。登熟気温は出穂後40日間の日平均積算気温。同左差異は現在値との差異。表上段は表Ⅲ－8の中苗と成苗の平均（移植日5/25）。表下段は出穂日を8/1と8/10に想定して算出した。

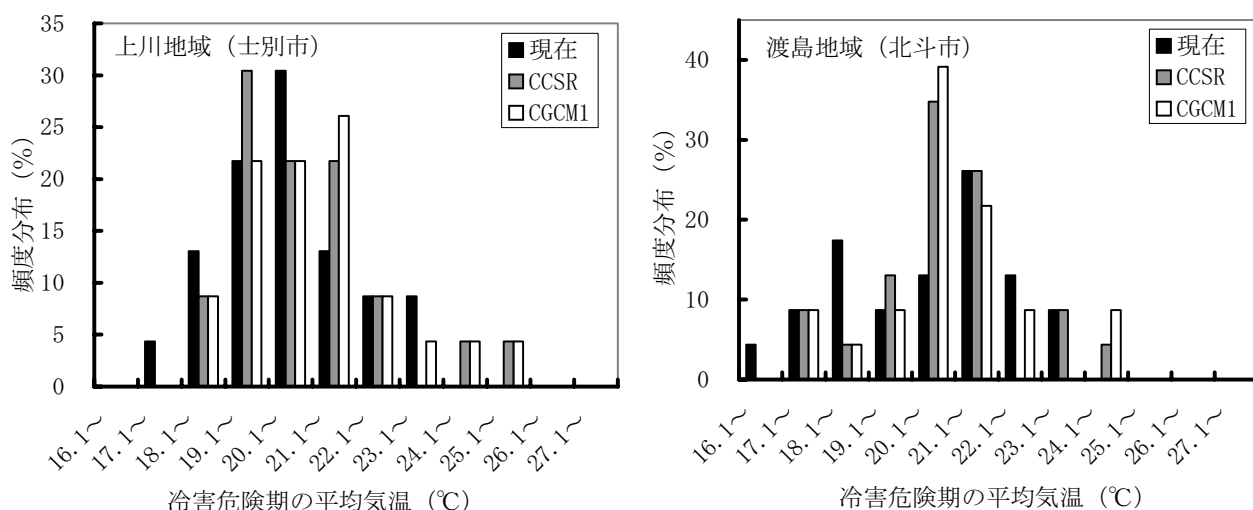


図Ⅲ－4 安全出穂期間における出穂日と精米アミロース含有率および蛋白質含有率との関係
(岩見沢市、旭川市) 2030年代の気象はCCSR。

(4) 穂ばらみ期（冷害危険期）の気温変動からみた冷害発生リスク

2030年代の冷害危険期の平均気温は、6地域を平均すると、CCSRでは中苗、成苗とも0.2℃、CGCM1では中苗で0.3℃、成苗で0.5℃現在よりも上昇する(表

Ⅲ-10)。これは図Ⅱ－1、2に示した7月の道内平均の昇温程度よりも小さい。この理由は、5～6月の気温上昇により水稻の生育が早まり、冷害危険期の暦日が現在よりも早い時期へシフトするためである。



図Ⅲ－５ 上川地域（士別市）と渡島地域（北斗市）における冷害危険期の平均気温の頻度分布

成苗の場合。気温はアメダスポイント。1978～2000年の各年次の気温が現在から2030年代の予測気温まで上昇すると仮定して算出。

2030年代の各地域の気温頻度分布を見ると、上川および空知地域では全般に現在よりも高い領域に分布するが、胆振および渡島地域ではその傾向は明瞭ではない（図Ⅲ－5、データの一部省略）。このことは、不稔発生の危険性が特に高まる同気温19℃、18.5℃以下の年次の分布比率からも裏付けられる（表Ⅲ－10）。これら胆振および渡島地域は「やませ」の流入により7月の気温変動が大きい地域であり、その影響は2030年代でも小さくならないと思われる。いずれにしても、不稔発生の懸念がある気温に遭遇する可能性は検討対象とした全地域で認められることから、障害型冷害発生リスクは2030年代でも残ると考えられる。

（５）収量性

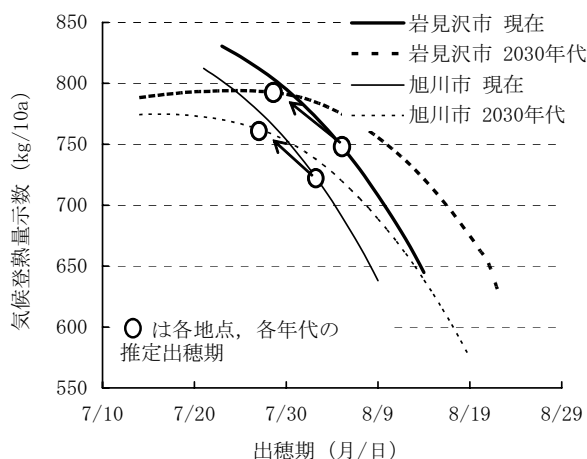
方法Aによる2030年代の推定収量は、とくにCCSRにおいて8～9月の日射量が低下することがマイナスに働くが、同期の平均気温が1.3～1.8℃上昇するため、全道平均では現在比98～101%とほぼ現在と変わらない（表Ⅲ－11）。

一方、潜在的収量性を表すと考えられる方法Bによる気象登熟量示数⁷⁾は、出穂後40日間における日射量がやや減少するが、同平均気温が同示数の最適気温に近くなるため、現在比107～110%へと増収する（表Ⅲ－12）。

表Ⅲ－10 現在（1978から2000年まで、23年間）と2030年代における冷害危険期の平均気温の平均値、および不稔発生の危険性が高い冷害危険期の平均気温19℃以下と18.5℃以下の年次の比率（％）

項目	気温 の 種別	苗種	士別 市	比布 町	深川 市	岩見 沢市	厚真 町	北斗 市	平均
平均 気温 ℃	現在	中苗	21.3	21.4	21.4	21.6	21.0	21.5	21.4
		成苗	20.8	20.6	20.5	20.5	20.6	20.5	20.6
	CCSR	中苗	21.5	21.5	21.6	21.7	21.6	21.4	21.6
		成苗	20.9	20.8	21.0	21.1	20.5	20.7	20.8
	CGCM1	中苗	21.7	21.7	21.8	21.9	21.6	21.4	21.7
		成苗	21.1	21.2	21.4	21.6	20.6	20.8	21.1
平均 気温 19℃ 以下 の年 次	現在	中苗	22	9	4	17	9	4	10.9
		成苗	17	26	13	17	22	30	21.0
	CCSR	中苗	9	0	4	4	9	9	5.8
		成苗	9	9	0	4	13	13	8.0
	CGCM1	中苗	4	4	0	4	9	9	5.1
		成苗	9	0	0	0	9	13	5.1
平均 気温 18.5 ℃以 下の 年次	現在	中苗	17	0	0	0	4	4	4.3
		成苗	13	9	9	9	13	17	11.6
	CCSR	中苗	0	0	0	0	4	9	2.2
		成苗	4	4	0	4	13	13	6.5
	CGCM1	中苗	0	0	0	0	4	9	2.2
		成苗	4	0	0	0	4	13	3.6

図Ⅲ－5の脚注参照



図Ⅲ－6 安全出穂期間における出穂日と気候登熟量示数の関係（岩見沢市、旭川市）

2030年代の気象はCCSR。

また、先述の食味関連形質での検討と同様に、出穂期の変動が収量性に及ぼす影響を解析したところ、出穂期が遅い8月10日の場合は、方法A、方法B

それぞれで現在比94～98，98～104%と低く見積もられた（表Ⅲ－13，表Ⅲ－14）。

さらに、出穂期の連続的な変化が気象登熟量示数に与える影響を見ると、2030年代には出穂期の遅延化に対する示数の低下が現在よりも緩やかとなり、収量性は全般に安定化の方向へ向かうと見込まれる（図Ⅲ－6）。

（6）直播栽培における出穂期

直播栽培の現在の出穂期は、18地帯の平均でみると、晩限出穂期よりも早生で3日、中生で7日遅く、登熟条件からみると直播栽培は厳しい現況にある（表Ⅲ－15）。ただし、一般に直播では移植栽培よりも登熟期間が短くなるため、晩限出穂期よりも3日遅い地帯でも適応地帯としている^{8, 9)}。

一方、2030年代では出穂期が現在より9～13日早まるため、晩限出穂期よりも早生品種で16～21日、中生品種では12～17日早く出穂期に達する。そのため、早生品種に加え中生品種の直播栽培が安定的に全道で可能となると推察される。

表Ⅲ－11 方法Aによる現在および2030年代の収量推定値

地帯市町村 番号名	現在				CCSR								CGCM1							
	出穂	出穂前10日 以降40日間		推定	出穂	出穂前10日以降40日間				推定	同左	出穂	出穂前10日以降40日間				推定	同左		
	期	平均	日射	収量	期	平均	同左	日射	同左	収量	との	期	平均	同左	日射	同左	収量	との		
		気温	量W			気温	現在	量W	現在		比		気温	現在	量W	現在		比		
	℃	/m ²			℃	差異	/m ²	差異		%		℃	差異	/m ²	差異		%			
1 江差町	8/3	21.7	178	570	7/29	22.6	0.9	161	-17.4	522	92	7/28	23.0	1.3	166	-1.1	537	94		
2 北斗市	8/7	20.9	168	521	7/30	22.3	1.4	148	-19.7	480	92	7/29	22.7	1.8	153	-1.3	496	95		
3 ニセコ町	8/5	20.4	175	527	7/29	21.8	1.4	163	-11.6	524	99	7/28	22.2	1.8	170	-0.4	550	104		
4 共和町	8/4	21.1	188	587	7/29	22.3	1.2	172	-15.0	558	95	7/28	22.7	1.6	178	-0.8	579	98		
5 伊達市	8/8	20.6	172	527	7/30	22.1	1.5	162	-10.4	523	99	7/29	22.5	1.9	164	-0.7	533	101		
6 厚真町	8/11	19.5	170	478	8/3	21.1	1.6	156	-13.9	490	102	8/1	21.7	2.2	157	-1.1	504	105		
7 恵庭市	8/6	20.5	175	531	7/31	21.6	1.1	162	-12.7	517	97	7/30	22.1	1.6	164	-0.9	531	100		
8 長沼町	8/6	20.5	177	538	7/30	21.7	1.2	167	-10.4	533	99	7/27	22.3	1.8	170	-0.6	551	102		
9 新篠津村	8/7	20.1	179	530	7/31	21.5	1.4	172	-6.9	549	104	7/29	22.1	2.0	175	-0.4	564	106		
10 岩見沢市	8/5	20.5	179	545	7/29	21.7	1.2	174	-5.8	556	102	7/26	22.4	1.9	174	-0.5	563	103		
11 深川市	8/1	21.0	188	585	7/26	22.4	1.4	171	-16.2	555	95	7/23	23.1	2.1	174	-1.2	563	96		
12 雨竜町	8/3	20.5	186	566	7/29	21.5	1.0	168	-18.5	534	94	7/26	22.3	1.8	170	-1.4	551	97		
13 小平町	8/8	20.0	186	546	8/3	20.9	0.9	171	-15.0	532	97	7/31	21.8	1.8	175	-1.0	561	103		
14 士別市士別	8/6	19.7	184	526	7/31	20.8	1.1	168	-16.2	518	98	7/27	21.7	2.0	170	-1.2	545	103		
15 旭川市	8/3	20.3	185	555	7/28	21.3	1.0	178	-6.9	563	101	7/25	22.1	1.8	181	-0.4	583	105		
16 中富良野町	8/2	20.6	188	573	7/28	21.5	0.9	167	-20.8	530	93	7/25	22.4	1.8	168	-1.7	544	95		
17 名寄市風連	8/7	19.5	179	504	8/1	20.8	1.3	168	-11.6	518	103	7/28	21.8	2.3	170	-0.8	546	108		
18 北見市	8/11	19.1	182	489	8/5	20.1	1.0	162	-19.7	479	98	7/31	21.2	2.1	162	-1.7	510	104		
平均	8/6	20.4	180	539	7/30	21.6	1.2	166	-13.8	527	98	7/28	22.2	1.9	169	-1.0	545	101		

収量の推定は以下の式による。y：収量，s：出穂前10日以降40日間の日射量，t：同期間の平均気温， $y=s(3.335-0.0415(t-22.8)^2)$ 。出穂期は表Ⅲ－6の中苗と成苗の平均。

表Ⅲ－12 方法Bによる現在および2030年代の収量推定値（気候登熟量示数）

地帯市町村 番号 名	現在					CCSR						CGCM1						
	出穂	出穂後40日間 気候			出穂	出穂後40日間の				気候	同左	出穂	出穂後40日間の				気候	同左
	期	平均	日射	登熟量	期	平均	同左	日射	同左	登熟量	現在	期	平均	同左	日射	同左	登熟量	現在
		気温	量MJ	示数		気温	現在	量MJ	現在	示数	との		気温	現在	量MJ	現在	示数	との
	月日	℃	/m ²	kg/10a	月日	℃	差異	/m ²	差異	kg/10a	比%	月日	℃	差異	/m ²	差異	kg/10a	比%
1 江差町	8/3	21.2	587	745	7/29	22.6	1.4	562	-25.0	714	96	7/28	23.1	1.9	564	-23	706	95
2 北斗市	8/7	20.1	549	668	7/30	22.2	2.1	519	-30.0	664	99	7/29	22.7	2.6	522	-27	662	99
3 ニセコ町	8/5	19.3	567	649	7/29	21.0	1.7	563	-4.0	711	109	7/28	21.5	2.3	579	12	740	114
4 共和町	8/4	20.3	607	748	7/29	22.0	1.7	588	-19.0	753	101	7/28	22.6	2.3	603	-4	767	102
5 伊達市	8/8	19.8	571	682	7/30	21.9	2.1	570	-1.0	730	107	7/29	22.4	2.6	570	-1	727	107
6 厚真町	8/11	18.3	560	576	8/3	20.6	2.3	544	-16.0	679	118	8/1	21.3	3.0	547	-13	696	121
7 恵庭市	8/6	19.5	574	672	7/31	21.2	1.7	557	-17.0	708	105	7/30	21.8	2.3	562	-12	719	107
8 長沼町	8/6	19.6	581	684	7/30	21.4	1.8	572	-9.0	729	107	7/27	22.1	2.5	579	-2	741	108
9 新篠津村	8/7	19.1	589	668	7/31	21.1	1.9	589	0.0	746	112	7/29	21.8	2.6	594	5	760	114
10 岩見沢市	8/5	19.7	588	695	7/29	21.4	1.7	590	2.0	752	108	7/26	22.2	2.6	594	6	759	109
11 深川市	8/1	20.1	607	739	7/26	22.0	1.9	580	-27.0	742	100	7/23	23.0	2.9	587	-20	739	100
12 雨竜町	8/3	19.5	604	704	7/29	20.9	1.4	567	-37.0	715	102	7/26	21.9	2.5	574	-30	735	104
13 小平町	8/8	18.8	603	662	8/3	20.3	1.4	570	-33.0	700	106	7/31	21.2	2.4	591	-12	751	113
14 士別市士別	8/6	18.4	592	621	7/31	20.1	1.6	560	-32.0	680	109	7/27	21.2	2.8	573	-19	728	117
15 旭川市	8/3	19.3	596	684	7/28	20.6	1.3	595	-1.0	742	108	7/25	21.6	2.4	604	8	772	113
16 中富良野町	8/2	19.5	607	709	7/28	21.0	1.5	565	-42.0	713	101	7/25	22.0	2.5	571	-36	731	103
17 名寄市風連	8/7	18.1	575	580	8/1	20.1	1.9	560	-15.0	681	117	7/28	21.2	3.1	572	-3	727	125
18 北見市	8/11	17.7	579	547	8/5	19.4	1.6	541	-38.0	626	114	7/31	20.6	2.9	555	-24	692	126
平均	8/6	19.3	585	669	7/30	21.1	1.7	566	-19.1	710	107	7/28	21.9	2.5	575	-11	731	110

気候登熟量示数は林ら（2001）による。 $y/s=1.28-0.0192(21.9-t)^2$ ， y ：気候登熟量示数， s ：出穂後40日間の積算日射量（J）， t ：出穂後40日間の平均気温（℃）。出穂期は表Ⅲ－6の中苗と成苗の平均。現在差異は現在の値との差異。

表Ⅲ－13 出穂期の変動が2030年代の収量に及ぼす影響（方法A）

地域市町村名	現在				CCSR				CGCM1			
	出穂	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定	
	期	以降40日間		期	以降40日間		期	以降40日間		期	以降40日間	
	平均	日射	収量	平均	日射	収量	平均	日射	収量	平均	日射	収量
	気温	量	kg/	気温	量	kg/	気温	量	kg/	気温	量	kg/
	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a
渡島 北斗市	8/7	20.9	168	521	7/30	22.3	148	480	7/29	22.7	153	496
空知 岩見沢市	8/5	20.5	179	545	7/29	21.7	174	556	7/26	22.4	174	563
上川 旭川市	8/3	20.3	185	555	7/28	21.3	178	563	7/25	22.1	181	583
網走 北見市	8/11	19.1	182	489	8/5	20.1	162	479	7/31	21.2	162	510
平均	8/7	20.2	179	528	7/31	21.4	166	520	7/28	22.1	168	538

地域市町村名	CCSR 8/1出穂			CCSR 8/10出穂			CGCM1 8/1出穂			CGCM1 8/10出穂		
	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定		出穂	出穂前10日 推定		出穂
	以降40日間		期	以降40日間		期	以降40日間		期	以降40日間		期
	平均	日射	収量	平均	日射	収量	平均	日射	収量	平均	日射	収量
	気温	量	kg/	気温	量	kg/	気温	量	kg/	気温	量	kg/
	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a	℃	w/日	10a
渡島 北斗市	22.3	149	487	22.2	150	490	22.8	152	495	22.6	150	492
空知 岩見沢市	21.7	172	555	21.3	170	539	22.4	172	563	22.0	171	556
上川 旭川市	21.1	176	552	20.4	170	509	21.9	177	573	21.2	171	540
網走 北見市	20.3	163	484	19.8	160	452	21.2	162	511	20.7	161	492
平均	21.4	165	519	20.9	163	497	22.1	166	536	21.6	163	520

収量の推定式は表Ⅲ－11の脚注を参照，表上段は表Ⅲ－11と同じ（移植日5/25）。表下段は出穂日を8/1と8/10に想定して算出した。

表Ⅲ－14 出穂期の変動が2030年代の収量（気象登熱量示数）に及ぼす影響（方法B）

地域 市町村名	現在				CCSR				CGCM1			
	出穂期	出穂後40日間		気候	出穂期	出穂後40日間		気候	出穂期	出穂後40日間		気候
		平均	積算	登熱量		平均	積算	登熱量		平均	積算	登熱量
	月日	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a	月日	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a	月日	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a
渡島 北斗市	8/7	20.1	549	668	7/30	22.2	519	664	7/29	22.7	522	662
空知 岩見沢市	8/5	19.7	588	695	7/29	21.4	590	752	7/26	22.2	594	759
上川 旭川市	8/3	19.3	596	684	7/28	20.6	595	742	7/25	21.6	604	772
網走 北見市	8/11	17.7	579	547	8/5	19.4	541	626	7/31	20.6	555	692
平均	8/7	19.2	578	649	7/31	20.9	561	696	7/28	21.8	569	721

地域 市町村名	CCSR 8/1出穂			CCSR 8/10出穂			CGCM1 8/1出穂			CGCM1 8/10出穂		
	出穂後40日間		気候	出穂後40日間		気候	出穂後40日間		気候	出穂後40日間		気候
	平均	積算	登熱量	平均	積算	登熱量	平均	積算	登熱量	平均	積算	登熱量
	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a	気温 ℃	日射量 J/m ²	示数 kg/10a
渡島 北斗市	22.1	518	663	21.4	510	650	22.5	521	663	21.8	517	662
空知 岩見沢市	21.2	586	744	20.2	564	692	21.8	589	754	20.8	579	728
上川 旭川市	20.2	583	714	19.0	549	616	21.0	590	745	19.7	568	674
網走 北見市	19.7	549	651	18.8	528	580	20.5	555	690	19.6	547	642
平均	20.8	559	693	19.9	538	634	21.5	564	713	20.5	553	677

気候登熱量示数の算出は表Ⅲ－12の脚注を参照，表上段は表Ⅲ－12と同じ（移植日5/25）。表下段は出穂日を8/1と8/10に想定して算出した。

表Ⅲ－15 現在および2030年代における直播栽培の出穂期

栽培 指標 地帯 番号	市町村名	現在					CCSR							CGCM1						
		推定出穂期				晩限 出穂 期	推定出穂期				晩限 出穂 期	推定出穂期				晩限 出穂 期				
		(月日)					(月日)					(月日)								
		早生 品種	晩限 差異	中生 品種	晩限 差異		早生 品種	現在 差異	晩限 差異	中生 品種		現在 差異	晩限 差異	早生 品種	現在 差異		晩限 差異	中生 品種	現在 差異	晩限 差異
1	江差町	8/8	13	8/12	9	8/21	8/1	7	32	8/4	8	29	9/2	7/31	8	34	8/4	8	30	9/3
2	北斗市	8/13	4	8/18	-1	8/17	8/2	11	28	8/6	12	24	8/30	8/1	12	30	8/5	13	26	8/31
5	伊達市	8/12	3	8/17	-2	8/15	8/1	11	27	8/5	12	23	8/28	7/31	12	29	8/4	13	25	8/29
6	厚真町	8/21	-14	8/26	-19	8/7	8/10	11	9	8/14	12	5	8/19	8/8	13	13	8/12	14	9	8/21
7	恵庭市	8/20	-9	8/25	-14	8/11	8/11	9	9	8/15	10	5	8/20	8/9	11	13	8/13	12	9	8/22
8	長沼町	8/14	-2	8/18	-6	8/12	8/4	10	17	8/8	10	13	8/21	8/2	12	21	8/6	12	17	8/23
9	新篠津村	8/18	-9	8/22	-13	8/9	8/7	11	13	8/12	10	8	8/20	8/5	13	17	8/9	13	13	8/22
10	岩見沢市	8/12	0	8/17	-5	8/12	8/3	9	18	8/7	10	14	8/21	7/30	13	24	8/3	14	20	8/23
11	深川市	8/9	1	8/14	-4	8/10	7/30	10	22	8/3	11	18	8/21	7/27	13	28	7/31	14	24	8/24
13	小平町	8/9	-1	8/14	-6	8/8	8/3	6	13	8/7	7	9	8/16	7/31	9	20	8/4	10	16	8/20
14	和寒町	8/7	-4	8/12	-9	8/3	7/30	8	11	8/3	9	7	8/10	7/26	12	20	7/30	13	16	8/15
15	比布町	8/8	-2	8/12	-6	8/6	7/31	8	11	8/4	8	7	8/11	7/27	12	19	7/31	12	15	8/15
16	富良野市	8/6	1	8/10	-3	8/7	7/29	8	15	8/2	8	11	8/13	7/26	11	21	7/30	11	17	8/16
17	名寄市	8/15	-13	8/20	-18	8/2	8/5	10	6	8/10	10	1	8/11	8/1	14	14	8/5	15	10	8/15
18	北見市	8/13	-10	8/17	-14	8/3	8/4	9	6	8/9	8	1	8/10	7/30	14	16	8/3	14	12	8/15
平均		8/12	-3	8/17	-7	8/10	8/3	9	16	8/7	10	12	8/19	7/31	12	21	8/4	13	17	8/22

早生品種「ゆきまる」、中生品種「きらら397」。播種日は現行直播マップ[®]で使用している5月10日。気象はアメダスポイントデータによる。ただし、晩限出穂期において和寒町は士別市、比布町は旭川市、富良野市は中富良野町、名寄市は名寄市風連の表Ⅲ－6の値を使用。晩限差異は晩限出穂期との差異で、現在差異は現在の出穂期との差異。2010年の気温での比布町と岩見沢市における推定出穂期：7/27，8/3，晩限出穂期：8/18，8/24（中生品種「きらら397」）。

（７）その他の障害

①登熟期の高温による白未熟粒発生に伴う品質低下
近年、西南暖地を中心に白未熟粒の多発による品質低下が問題となっている。これまでの報告^{10) 11)}から、出穂後20日間の平均気温が26～27℃をこえると検査等級が低下するまで同発生率が高くなる。本試験の2030年代の予測気象の中でも登熟気温がより高くなるCGCM1（表Ⅲ－8）では、出穂後20日間の平均気温は、江差町：23.3、北斗市：23.0、深川市：23.5、旭川市：22.5℃であり、26℃よりも低い。以上のことから、2030年代の平均的気象条件において、白未熟粒の発生による検査等級の低下が生じる危険性は低いと考えられる。

②高温による障害不稔

高温による不稔発生をみると、稲の感受性は穂ばらみ期よりも開花期で顕著に高い¹²⁾。また、過去の報告から、明確な高温障害が生じるのは35℃前後である¹³⁾。2030年代での予測気温でも出穂期頃の気温がより高くなるCGCM1でみると、開花期に相当すると思われる出穂期以降7日間での最高気温の最高値は、江差町：26.1、北斗市：27.0、深川市：27.5、旭川市：27.6℃であり、35℃以上の気温が発生する危険性は極めて低いと考えられる。

③いもち病の多発発生

2030年代には現在に比べ春季の気温が上昇するため、いもち病の初発が早まることが考えられる。また、いもち病の発生適温は20～25℃とされ、日照不足による稲体の軟弱化、降雨によるいもち病菌の発芽・侵入に必要な水滴の供給がその発生を助長する¹⁴⁾。2030年代には、夏季においても平均気温25℃以下の範囲での気温上昇とともに、日射量の減少や降雨量の増加が見込まれていることから、いもち病の発生増加は避けられないと思われる。

4. 2030年代の予測に基づく技術的対応方向

1) 作作品種の耐冷性および熟期

2030年代では限界移植日と早限出穂期が早まり晩限出穂期が遅くなることにより、現在よりも生育期間を長くできるため、遅延型冷害の危険性は小さくなる。一方、春季の気温上昇のため水稻の生育が促進されることは、同一熟期の品種でみると生育期の前進により、冷害危険期の平均気温は7月の気温上昇ほど上がらず、障害不稔発生の危険性は残る。さらに、今回は考慮に含めていないが、将来的に夏季の気象変動が現状より増大するとの見方もあることから、今後も障害型耐冷性向上の重要性は変わら

ないと考えられる。

また、潜在的な収量性は高まると予想されるが、実際に一定収量を得るためには、出穂期までの栄養成長期に必要な籾数を確保しなければならない。例えば、本試験で6、7月の月別気温と収量との間に一定の相関関係が得られなかったことは、これらの年次には高温により生育が促進され㎡当たり籾数が十分確保されないまま登熟して低収となった年次や、低温で生育が遅れて㎡当たり籾数が多くなり登熟がぎりぎりまでに合い多収となった年次など、多様な収量成立事例が含まれるためと考えられる。以上のことから、2030年代までの期間も含めて、現行の品種については作付けの地帯区分を気候変化に合わせて見直すとともに、生育期間が大きく延長する地帯については、一定の収量を安定して得られる出穂期を見出し、その熟期を備えた品種を育成する必要がある。

例えば、前述のように北海道の稲作主要産地の2030年代の気温（5月～9月の日平均積算気温）は、青森県に相当する（表Ⅲ－1）。その移植から出穂期までの期間は、北海道で5月24日～8月2日、青森県で5月18日～8月7日であり、青森県は移植期が6日早く、出穂期が5日遅い。登熟期間に大きな差異がないとすれば、生育期間は青森県が11日長いことになり、一つの参考事例となる（表Ⅲ－16）。

表Ⅲ－16 北海道と東北各地域における水稻栽培の作業期節と出穂期（月日）

県道名	播種日	移植日	出穂期	刈取期
北海道	4/20	5/24	8/2	9/29
青森	4/12	5/18	8/7	10/3
岩手	4/15	5/15	8/8	10/5
宮城	4/8	5/7	8/6	10/1
秋田	4/18	5/18	8/6	10/2
山形	4/19	5/17	8/7	9/30
福島	4/16	5/14	8/12	10/7

1994～2008年の平均。農林水産省大臣官房統計部編（1995～2009）による。

一方、これまで北海道の水稻育種は精米アミロース含有率と精米蛋白質含有率の低下に目標をおいて行い、主にアミロース含有率を低下させることにより良食味化を成し遂げ¹⁵⁾、蛋白質含有率の低下程度は大きくはなかった。一般に、出穂期が遅い品種ほど登熟気温が低下しアミロース含有率は高くなるが、蛋白質含有率は低下することが認められている¹⁶⁾。また、アミロース含有率を育種により低下させ

ることは比較的容易である。以上のことから、現在の中生品種よりも熟期が遅くアミロース含有率が低い品種を作付けすることにより、さらに低蛋白化による食味向上を図れる可能性がある。

2) 育苗法、施肥対応

これまで北海道では、安定生産と良食味米生産のため初期生育を促進することが重要とされた。そのため、基準の栽植密度を遵守し、苗では稚苗、中苗より成苗と葉令が進み、施肥法では側条施肥など初期生育を促進する方法が奨励されている。しかし、栽植密度を高く維持することおよび葉令の進んだ苗を使用することは、必要な箱枚数は増え後者はさらに育苗期間が長くなることから、育苗の労力とコストが農家にとり負担である。また、春季の気温上昇により、葉令が進んだ苗では育苗ハウスでの高温により早期異常出穂を起こす危険性が高まる。

さらに、生育期間が長い条件では、初期生育の促進により栄養成長期の途中まで肥料成分の大半を吸収してしまい、肥料切れを生じる可能性が高まることから、分施や緩効性肥料の利用場面が増えると推測される。一方、東北地域でも青森県、次いで秋田県では、その他の地域と異なり稚苗よりも中苗と成苗が多く¹⁷⁾、2030年代の北海道でも初期生育の重要性は変わらないと思われるが、気象が変わることに対する現在の技術体系の検証が必要と思われる。

3) いもち耐病性の強化

いもち病の発生増加に対する防除法については、東北地域、その中でも前述したように5～9月の積算気温からみれば青森県で行われている対策を実施すれば対応可能と思われる。しかし、いもち病の発生には日射量や降雨量も影響することから、それらの違いによりいもち病発生がどう変わるか留意が必要である。一方、近年は農薬散布量を少なくすることが社会から求められていることから、それに対応した防除法も合わせて検討するとともに、いもち耐病性が強い品種を育成し普及させる必要がある。

4) その他

将来的に融雪の促進により5月の河川流量が減少することが予測されており¹⁸⁾、地域によっては、かんがい用水確保の面で制約が生じる可能性を見込んでおく必要がある。

5. まとめ

1) 1985～2008年の24ヵ年の成績では、収量に対して7月の気温の影響が最も大きく、不稔歩合と千粒重に影響した。しかし、それらの程度は小さくなく、収量を月別気象値から推定・予測することは困難で

あった。

2) 気温と生育・収量の経年変化みると、この24年間だけでは、夏の気温に昇温傾向は認められず、また北海道の水稻生育の変化に一定の傾向はなかった。

3) 2030年代には限界移植日（移植早限）が、水稻栽培18地帯の平均で現在より13～14日早まる。また、安全出穂期間が現在の13日から32～38日に拡大し、とくに晩限出穂期が遅くなり遅延型冷害の発生が少なくなる。従来作期が短いため作柄が安定しなかった地域ではより安定化する。また、登熟気温が高くなるため精米アミロース含有率が低下し良食味化する。精米蛋白質含有率もやや低下する。

4) 障害不稔発生に関係する冷害危険期の平均気温は少し高くなるに過ぎないため、冷害発生の危険性は残る。これは水稻の生育、すなわち冷害危険期の暦日が現在よりも早まることによる。一方、不稔発生をもたらすような低温域の出現頻度は上川地域と空知地域では減じるが、胆振地域や渡島地域では明確ではなく、地域間で差異が見られる。

5) 出穂前10日から40日間の気象から見た推定収量は、気温が上昇し最適気温に近づくが日射量が減少するため、現在対比で98～101%である。一方、潜在収量性を示す気候登熟量示数は、登熟気温が適温に近づくため107～110%と高くなる。

6) 直播栽培では、生育が早まり出穂期が早くなり晩限出穂期も遅くなることにより、早生品種に加え中生品種の直播も全道で安定的に行える。

6. 引用文献

- 1) 堀江武，中川博視．“イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究”．日作紀．59，687-695（1990）．
- 2) 北海道立中央農業試験場，上川農業試験場．“水稻の発育ステージおよび不稔歩合の推定法”．平成8年度北海道農業試験会議（成績会議）資料．1-35．（1997）．
- 3) 丹野久．“寒地のうるち米における精米蛋白質含有率とアミロース含有率の年次間と地域間の差異およびその発生要因”．日作紀．79，50-57（2010）．
- 4) 村田吉男．“わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について”．日作紀．33，59-63（1964）．
- 5) 農林水産省大臣官房統計部編．“全国農業地域別・都道府県別累年統計表（平成6年産～20年産）水稻”．平成6～20年産作物統計（普通作物・飼料作物・工芸農作物）．農林統計協会，東京都，1995～2009．

- 6) 内島立郎. “北海道, 東北地方における水稲の安全作季に関する農業気象学的研究”. 農技研報 A. 31, 23-113 (1983).
- 7) 林陽生, 石郷岡康史, 横沢正幸, 鳥谷均, 後藤慎吉. “温暖化が日本の水稲栽培の潜在的特性に及ぼすインパクト”. 地球環境. 6 (2), 141-148 (2001).
- 8) 北海道立中央農業試験場, 上川農業試験場. “落水出芽法を用いた水稲直播栽培の安定多収技術”. 平成15年度北海道農業試験会議 (成績会議) 資料. 1-47 (2004).
- 9) 丹野久, 田中英彦, 佐々木亮, 古原洋, 三浦周. “寒地水稲の湛水土中直播栽培における簡易有効積算気温による品種選定”. 日作紀. 76, 591-599 (2007).
- 10) 若松謙一, 佐々木修, 上藺一郎, 田中明男. “暖地水稲の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響”. 日作紀. 76, 71-78 (2007).
- 11) 森田敏. “イネの高温登熟障害の克服に向けて”. 日作紀. 77, 1-12 (2008).
- 12) 西山岩男. “イネの高温障害”. イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会, 札幌市, 1985, 246-258.
- 13) 松井勤. “開花期の高温によるイネ (*Oryza sativa* L.) の不稔”. 日作紀. 78, 303-311 (2009).
- 14) 大畑貫一. “いもち病”. 稲の病害—診断・生態・防除—. 全国農村教育協会, 東京都, 1989, 295-356.
- 15) 平山裕治. “北海道における水稲良食味品種の開発”. 日本水稲品質・食味研究会記念講演要旨集. 2-5 (2009).
- 16) 菊地治己. “イネの胚乳成分に関する育種学的研究”. 北海道立農試報. 68, 1-68 (1988).
- 17) 藤井薫. “寒地 (東北・太平洋側) の育苗様式”. 農文協編, 稲作大百科Ⅳ 栽培様式/管理の実際. 農山漁村文化協会, 東京都, 1990, 25-38.
- 18) 井上聡, 横山宏太郎, 大野宏之, 川島茂人. “地球温暖化にともなう国内の降雪量減少の河川への影響”. 地球環境. 6, 259-266 (2001).

(丹野 久)