

5. 小豆

1) 目的

温暖化に伴う生育期節の変動を予測するとともに、生育期間の気温から収量・品質の変動を予測する推定式を求め、2030年代における北海道の小豆生産量を予測する。

2) 方法

(1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

小豆の生育と気象要因との関係を解析するため、十勝農業試験場における作況データより生育期節（播種期、出芽始、開花始、成熟期）、収量（子実重 (kg/10a)）、主茎長、収量構成要素（着莢数、一莢内粒数、百粒重）とアメダス芽室における気象データとの相関について検討をおこなった。

品種：「エリモショウズ」（北海道の普通小豆基幹品種）

生育データ：1989～2010年（22年間）の十勝農試作況データ

気象データ：1989～2010年（22年間）アメダス芽室の平均気温、最高気温、最低気温、降水量

(2) 生育期節の予測

村田（1998）によれば、小豆の生育期節はDVR法により、次式で予測することができる。

$$DVR = (1 - \exp(b \times (\text{日平均気温} - c))) / a$$

本式に、1982～2009年の十勝農試における生産力検定試験（品種「エリモショウズ」）での生育期節データと気象データを入力し、シンプレックス法によりパラメータa、bを決定し、以下のような出芽始、開花始、成熟期の推定式を得た（X：日平均気温）。

①出芽始：

$$1) DVR(B1) = (1 - \exp(-0.0025060 \times (X - 3.2613000))) / 0.1689790$$

$$2) DVR(B2) = (1 - \exp(-0.1619660 \times (X - 5.7038900))) / 4.6241900$$

②開花始

$$1) DVR(F1) = (1 - \exp(-0.1298900 \times (X - 9.6795700))) / 24.1444000$$

$$2) DVR(F2) = (1 - \exp(-0.0712693 \times (X - 7.8864600))) / 3.1916600$$

③成熟期：

$$1) DVR(M1) = (1 - \exp(-0.0781348 \times (X - 2.83455))) / 26.5272$$

$$2) DVR(M2) = (1 - \exp(-0.0445813 \times (X - 5.44225))) / 33.4536$$

出芽始、開花始、成熟期のいずれの計算においても、まず1)式に播種日からの日平均気温を代入して順次累積し、累積値が1となった日付から2)式を用いて再度順

次累積し、2)式による累積値が1となった日をそれぞれの生育期節とする。

(3) 子実重の予測

地区別（石狩・空知、上川・留萌、後志、渡島・桧山、胆振、十勝、オホーツク）に小豆収量と生育期間の気象から回帰式を導き、これに第Ⅱ章で整備した温暖化気候データ（CCSR, CGCM1）を代入して、2030年代の子実重の予測を行なった。

子実重：農林水産統計 1983～2009年の27年間、石狩・空知、上川・留萌、後志、渡島・桧山、胆振、十勝、オホーツクの8か所

生育期間の気温：1983～2009年6～9月におけるアメダス地点の日平均気温。石狩・空知：岩見沢、上川・留萌：旭川、後志：倶知安、渡島・桧山：北斗、胆振：苫小牧、十勝：芽室、オホーツク：境野

(4) 品質の予測

小豆では、登熟期間が高温であると粒大が小さくなり、小豆の規格内歩留が低下することが知られている。そこで登熟期間（開花始～成熟期）の平均気温から百粒重を推定し、粒大の低下と規格内歩留の低下を予測する。

百粒重：中央農試（長沼町）、上川農試（比布町）、十勝農試（芽室町）における1989～2009年の生産力検定試験、および育成系統地域適応性検定試験の「エリモショウズ」の百粒重。

規格内歩留：2006～2009年における全道の生産力検定試験、地域適応性検定試験、奨励品種決定現地調査等の「エリモショウズ」について、4.9mm篩上に残る粗玄子実重の割合(%)

気象データ：各試験地近傍のアメダス地点から開花期～成熟期間の日平均気温の平均値を登熟期間の平均気温とした。

開花期の予測：出芽始、成熟期の予測同様、1982～2009年の十勝農試生産力検定試験の「エリモショウズ」の開花始とアメダス芽室の日平均気温から推定式を求め、算出した。

3) 結果

(1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

1989～2010年の22年間における収量と気象要素の関係について、各月、期間および生育に合わせた期間の平均気温、最高気温、最低気温の関係を検討した。いずれも有意な相関は認められなかったが、6月および6～9月の降水量と収量に負の相関がみられた（表Ⅳ-5-1）。一方、同時期の十勝地域における収量（1989～2009年）と気象要因の関係において、月別では8月、9月の気温

との相関が高く、6月～8月あるいは6月～9月の平均気温との相関が最も高かった（表Ⅳ－5－2）。

表Ⅳ－5－1 十勝農試作況収量と生育期間の気象要素との相関（1989～2010年）

気象要素	6月	7月	8月	9月	6-7月	6-8月	6-9月
平均気温	0.147	0.010	0.109	0.014	0.082	0.013	0.000
最高気温	0.182	0.030	0.202	0.185	0.108	0.034	0.010
最低気温	0.073	0.039	0.010	0.158	0.064	0.045	0.017
降水量	-0.434 *	-0.304	-0.374	-0.263	-0.055	-0.336	-0.458 *
気象要素	7-8月	7-9月	8-9月	生育	開花迄	登熟	開花±14
平均気温	0.085	0.059	0.070	0.032	0.023	0.140	0.098
最高気温	0.164	0.075	0.087	0.026	0.082	0.119	0.083
最低気温	0.029	0.035	0.062	0.050	0.030	0.143	0.124
降水量	-0.094	-0.283	-0.040	-0.373	-0.055	-0.318	-0.124

※生育：播種～成熟期、開花迄：播種～開花始、登熟：開花始～成熟期、開花±14：開花始前後14日間を示す。

※*、**：各々5%、1%水準で有意

表Ⅳ－5－2 十勝地域の収量と生育期間中の気象要素との相関（1989～2010年）

気象要素	6月	7月	8月	9月		
平均気温	0.480 *	0.528 *	0.636 **	0.644 **		
最高気温	0.475 *	0.492 *	0.561 **	0.706 **		
最低気温	0.492 *	0.492 *	0.617 **	0.403		
降水量	-0.457 *	-0.234	-0.384	-0.216		
気象要素	6-7月	6-8月	6-9月	7-8月	7-9月	8-9月
平均気温	0.693 **	0.812 **	0.828 **	0.746 **	0.779 **	0.693 **
最高気温	0.653 **	0.737 **	0.809 **	0.673 **	0.790 **	0.711 **
最低気温	0.721 **	0.826 **	0.766 **	0.714 **	0.666 **	0.569 **
降水量	-0.155	-0.442 *	-0.488 *	-0.215	-0.308	-0.149

※*、**：各々5%、1%水準で有意

生育期間中における各時期の平均気温と生育期間や収量構成要素との相関についてみると、生育期間および登熟日数は6～8月、6～9月の平均気温との相関がかなり高く、播種期～開花始日数は6～7月の平均気温との相関がかなり高かった（表Ⅳ－5－3）。

収量構成要素については、主茎長は6月の気温との相関が高く、着莢数、一莢内粒数は相関のみられた項目はなかった。一方、百粒重は6～9月、7～8月、8～9月、全生育期間の平均気温との高い負の相関があり、とくに登熟期間の気温と高い負の相関がみられた（表Ⅳ－5－3）。

表Ⅳ－5－3 十勝農試作況における生育各期間、収量構成要素と生育期間中の平均気温との相関（1989～2010年）

構成要素等	6月	7月	8月	9月	6-7月	6-8月	6-9月
生育期間	-0.591 **	-0.637 **	-0.755 **	-0.784 **	-0.812 **	-0.812 **	-0.920 **
開花迄日数	-0.616 **	-0.735 **	-	-	-	-	-
登熟日数	-0.437 *	-0.410	-0.866 **	-0.824 **	-0.562 **	-0.562 **	-0.818 **
総重	0.533 *	0.147	0.214	0.257	0.439 *	0.390	0.383
主茎長	0.584 **	0.153	0.409	0.292	0.475 *	0.475 *	0.527 *
着莢数	0.456 *	0.115	0.471 *	0.374	0.365	0.365 *	0.474 *
一莢内粒数	0.071	0.129	0.155	0.183	0.042	0.042	0.105
百粒重	-0.249	-0.127	-0.695 **	-0.507 *	-0.252	-0.252	-0.530 **
構成要素等	7-8月	7-9月	8-9月	生育	開花迄	登熟	開花±14
生育期間	-0.940 **	-0.867 **	-0.904 **	-0.963 **	-0.840 **	-0.884 **	-0.600 **
開花迄日数	-	-	-	-0.808 **	-0.910 **	-0.575 **	-0.464 *
登熟日数	-0.866 **	-0.820 **	-0.876 **	-0.873 **	-0.591 **	-0.940 **	-0.577 **
総重	0.223	0.255	0.248	0.349	0.374	0.190	0.261
主茎長	0.499	0.358	0.376	0.477 *	0.399	0.384	0.244
着莢数	0.489	0.377	0.406 *	0.434 *	0.349	0.425 *	0.284
一莢内粒数	0.132	0.183	0.190	0.133	0.044	0.150	0.337
百粒重	-0.560 **	-0.550 **	-0.576 **	-0.567 **	-0.285	-0.708 **	-0.281

※生育：播種～成熟期、開花迄：播種～開花始、登熟：開花始～成熟期、開花±14：開花始前後14日間を示す。

※*、**：各々5%、1%水準で有意

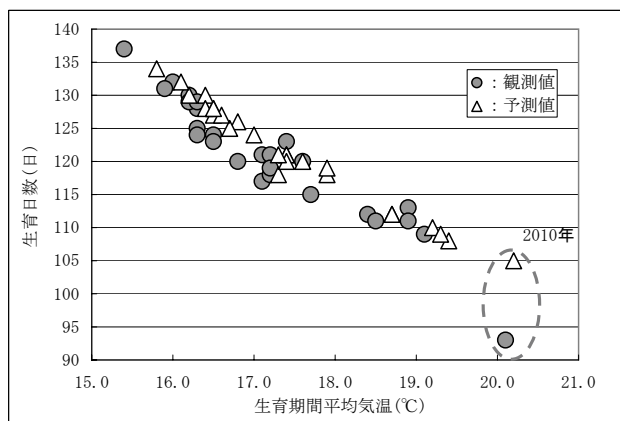
（2）生育期節の予測

開花始、成熟期の予測式を用いて播種期からそれぞれの日付を推定すると、表Ⅳ－5－4 のようになる。開花始と成熟期について予測値と観測値と比べると、高い確率でおよそ3日以内の誤差で予測することができた（図Ⅳ－5－1）。観測値との誤差3日以内の年次は、開花始は全体の92%、成熟期は84%であった。

表Ⅳ－5－4 DVI を用いた小豆の開花始と成熟期の予測値と観測値（十勝農試）

年次 (西暦)	観測値					予測値					誤差(日)	
	播種期 (月日)	開花始 (月日)	成熟期 (月日)	生育期間 (日)	平均 気温(℃)	開花始 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	平均 気温(℃)	開花始 成熟期		
1982	5.25	8.02	9.18	117	17.1	7.27	9.22	121	17.4	6	-4	
1985	5.27	7.31	9.24	121	17.1	8.02	9.21	118	17.3	-2	3	
1986	5.26	8.08	9.27	125	16.3	8.03	9.29	127	16.5	5	-2	
1987	5.22	7.27	9.22	124	16.3	7.27	9.26	128	16.5	0	-4	
1988	5.24	8.02	10.02	132	16.0	8.02	9.30	130	16.2	0	2	
1989	5.23	7.28	9.17	118	17.2	8.01	9.20	121	17.4	-4	-3	
1990	5.24	7.22	9.12	112	18.4	7.20	9.12	112	18.7	2	0	
1991	5.23	7.25	9.20	121	17.2	7.22	9.19	120	17.4	3	1	
1992	5.22	7.30	9.29	131	15.9	7.29	9.30	132	16.1	1	-1	
1994	5.24	7.24	9.09	109	19.1	7.23	9.08	108	19.4	1	1	
1995	5.26	7.27	9.26	124	16.5	7.27	9.28	126	16.8	0	-2	
1996	5.27	7.30	9.26	123	16.5	7.30	9.28	125	16.7	0	-2	
1997	5.26	7.26	10.02	130	16.2	7.26	10.02	130	16.4	0	0	
1998	5.26	7.27	9.22	120	16.8	7.28	9.26	124	17.0	-1	-4	
1999	5.24	7.26	9.13	113	18.9	7.24	9.10	110	19.2	2	3	
2000	5.24	7.16	9.11	111	18.9	7.19	9.09	109	19.3	-3	2	
2001	5.23	7.24	9.27	128	16.3	7.23	9.26	127	16.6	1	1	
2002	5.24	7.26	9.29	129	16.2	7.29	9.28	128	16.4	-3	1	
2003	5.23	8.01	10.06	137	15.4	8.01	10.03	134	15.8	0	3	
2004	5.25	7.20	9.12	111	18.5	7.21	9.13	112	18.7	-1	-1	
2005	5.24	7.25	9.15	115	17.7	7.26	9.18	118	17.9	-1	-3	
2006	5.23	7.27	9.22	123	17.4	7.30	9.19	120	17.6	-3	3	
2007	5.24	7.26	9.20	120	17.6	7.26	9.19	119	17.9	0	1	
2008	5.28	7.27	9.23	119	17.2	7.28	9.25	121	17.3	-1	-2	
2009	5.22	7.28	9.27	129	16.3	7.29	9.26	128	16.5	-1	1	
2010	5.31	7.19	8.31	93	20.1	7.21	9.12	105	20.2	-2	-12	

※1983、1993年は霜害により成熟期に未達、1984年は干ばつによる異常値として排除した。



図Ⅳ-5-1 小豆成熟期の予測値と観測値の差（1982～2010年十勝農試）

次にこれらの式を用いて、現在（1971～2000年）と2030年代について、日平均気温から道内15か所の開花始および成熟期を算出し、その生育期間および登熟期間の平均気温を推定した（表Ⅳ-5-5、6、7）。ただし、播種期はいずれも現在の播種適期とされる5月20日を想定した。

CCSRによる予測では、成熟期は現在よりも5日～19日、またCGCM1による予測では、現在よりも8日～23日早まった。地域別では、大樹町、上士幌町など現在の6～9月の気温が低い地域において成熟期の前進化が著しかった。中標津町は現在では小豆の栽培がなく、推定上も成熟期が10月8日となり、初霜日（10月7日）に近く、成熟期前に霜害に遭遇する確率が高く栽培が困難であるが、2030年代には成熟期が9月中旬となり、初霜が遅くなることとあいまって十分栽培可能と推定された。

表Ⅳ-5-5 現在（1971 - 2000年）の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	登熟平均 気温(℃)	6-9月平均 気温(℃)
北斗市	7.19	9.10	112	20.7	18.3
倶知安町	7.21	9.13	115	19.8	17.6
岩見沢市	7.18	9.09	111	20.7	18.4
滝川市	7.18	9.10	112	20.1	17.9
旭川市	7.16	9.08	110	20.5	18.3
富良野市	7.16	9.08	110	20.4	18.2
名寄市	7.20	9.15	117	19.1	17.2
留萌市	7.21	9.12	114	20.2	17.9
網走市	7.31	9.24	126	18.1	16.3
訓子府町	7.25	9.21	123	18.0	16.5
苫小牧市	7.28	9.18	120	19.5	17.1
大樹町	7.31	9.28	130	17.1	15.9
芽室町	7.23	9.18	120	18.7	16.9
上士幌町	7.28	9.26	128	17.1	16.1
中標津町	8.08	10.08	140	15.6	15.1
平均値	7.24	9.17	119	19.0	17.2

※播種日を5月20日と想定した場合。

表Ⅳ-5-6 2030年代（CCSR）の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	現代と の差	登熟平均 気温(℃)	6-9月平均 気温(℃)
北斗市	7.12	9.02	104	8	22.3	20.0
倶知安町	7.16	9.06	108	7	21.3	18.9
岩見沢市	7.10	9.01	103	8	22.4	20.1
滝川市	7.13	9.02	104	8	22.6	19.5
旭川市	7.11	8.31	102	8	21.1	19.8
富良野市	7.13	9.03	105	5	21.7	19.4
名寄市	7.15	9.07	109	8	20.8	18.7
留萌市	7.16	9.05	107	7	21.6	19.2
網走市	7.26	9.16	118	8	19.5	17.4
訓子府町	7.17	9.10	112	11	19.8	17.9
苫小牧市	7.20	9.11	113	7	21.0	18.6
大樹町	7.20	9.12	114	16	20.1	18.0
芽室町	7.19	9.10	112	8	20.3	18.2
上士幌町	7.19	9.11	113	15	20.1	18.0
中標津町	7.26	9.19	121	19	18.8	16.9
平均値	7.17	9.08	110	10	20.9	18.7

※播種日を5月20日と想定した場合。

表Ⅳ-5-7 2030年代（CGCM1）の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	現代と の差	登熟平均 気温(℃)	6-9月平均 気温(℃)
北斗市	7.12	9.02	104	8	22.8	20.4
倶知安町	7.15	9.04	106	9	21.8	19.3
岩見沢市	7.09	8.29	100	11	23.2	20.7
滝川市	7.11	8.31	102	10	21.7	20.1
旭川市	7.09	8.29	100	10	22.9	20.5
富良野市	7.11	8.31	102	8	22.5	20.0
名寄市	7.13	9.02	104	13	21.8	19.4
留萌市	7.15	9.03	105	9	22.2	19.8
網走市	7.21	9.13	115	11	20.4	18.2
訓子府町	7.15	9.06	108	15	20.8	18.7
苫小牧市	7.19	9.07	109	11	21.7	19.1
大樹町	7.18	9.08	110	20	20.9	18.6
芽室町	7.17	9.07	109	11	21.0	18.8
上士幌町	7.16	9.07	109	19	21.0	18.7
中標津町	7.21	9.15	117	23	19.8	17.8
平均値	7.15	9.05	107	13	21.6	19.3

※播種日を5月20日と想定した場合。

（3）子実重の予測

小豆の地域収量（Y）は生育期間の平均気温（X）の2次式で表わすことができる（村田ら，1987）。そこで、石狩・空知、上川・留萌、後志、渡島・桧山、胆振、十勝、オホーツクの7か所について1983～2009年（27年間）の6～8月の平均気温と地区平均子実重の関係を解析したところ、以下の回帰式が得られた（図Ⅳ-5-2、3、4）。

石狩・空知（岩見沢）：

$$Y = -5.10(X - 19.47)^2 + 202.7 \quad (R^2 = 0.1116)$$

上川・留萌（旭川）：

$$Y = -18.37(X - 19.66)^2 + 205.0 \quad (R^2 = 0.3930)$$

後志（倶知安）：

$$Y = -23.27(X - 18.77)^2 + 236.3 \quad (R^2 = 0.4541)$$

渡島・桧山（大野）：

$$Y = -11.87(X - 19.66)^2 + 200.1 \quad (R^2 = 0.7154)$$

胆振(苫小牧) :

$$Y = -9.59(X - 18.88)^2 + 236.9 \quad (R^2 = 0.6551)$$

十勝(芽室) :

$$Y = -17.18(X - 19.11)^2 + 276.9 \quad (R^2 = 0.8325)$$

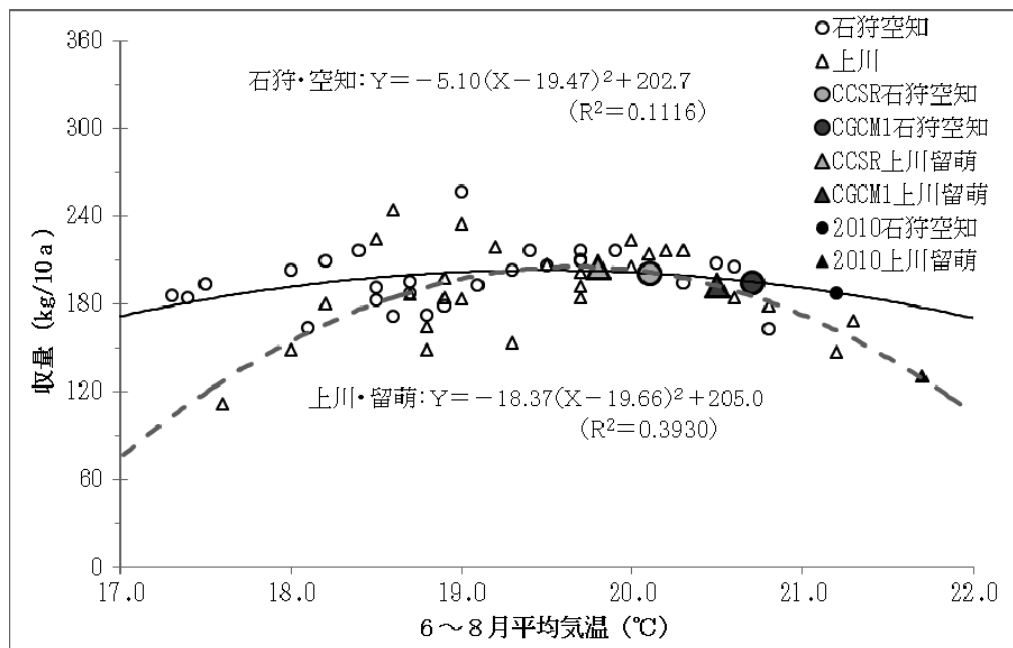
オホーツク(境野) :

$$Y = -11.14(X - 19.09)^2 + 251.6 \quad (R^2 = 0.7020)$$

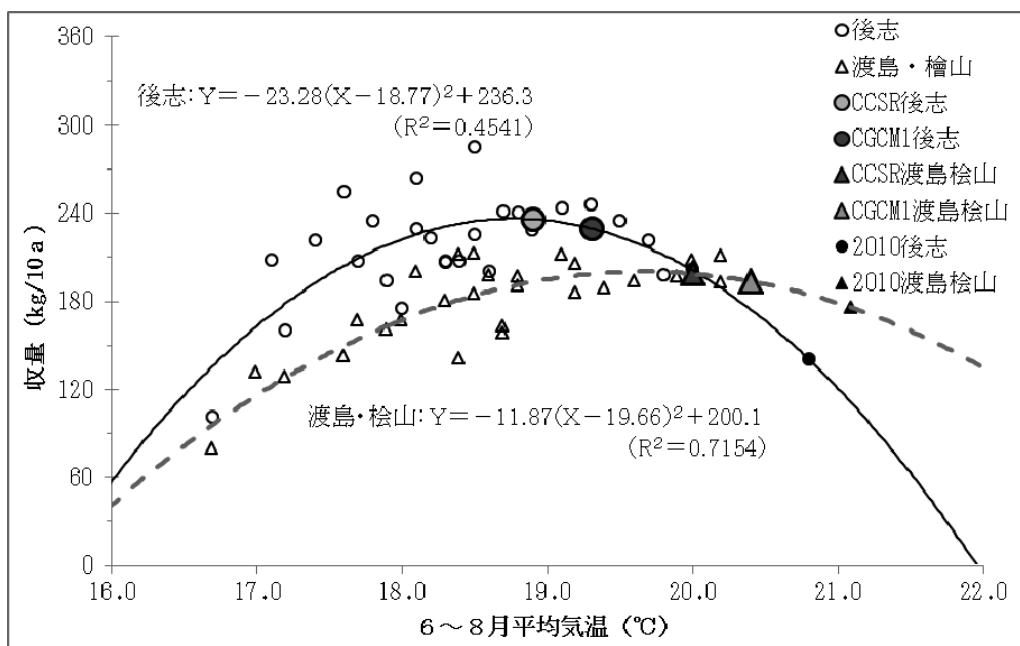
これらの回帰式を用いて、現在と 2030 年代の気象条件での収量を推定すると、石狩・空知地域では現在の 201kg/10a から CCSR では 196kg/10a, CGCM1 では 186kg/10a と減収し、上川地域では 201kg/10a からそれ

ぞれ 192kg/10a, 156kg/10a と減収する。また、後志地域では 231kg/10a から 230kg/10a, 212kg/10a, 渡島・檜山地域では 187kg/10a から 195kg/10a, 187kg/10a と現在とほぼ同等の収量となる。一方、胆振地域では 210kg/10a から 236kg/10a, 236kg/10a と増収し、十勝地域では 226kg/10a から 268kg/10a, 277kg/10a に、オホーツク地域では 208kg/10a から 246kg/10a, 251kg/10a に増収する。

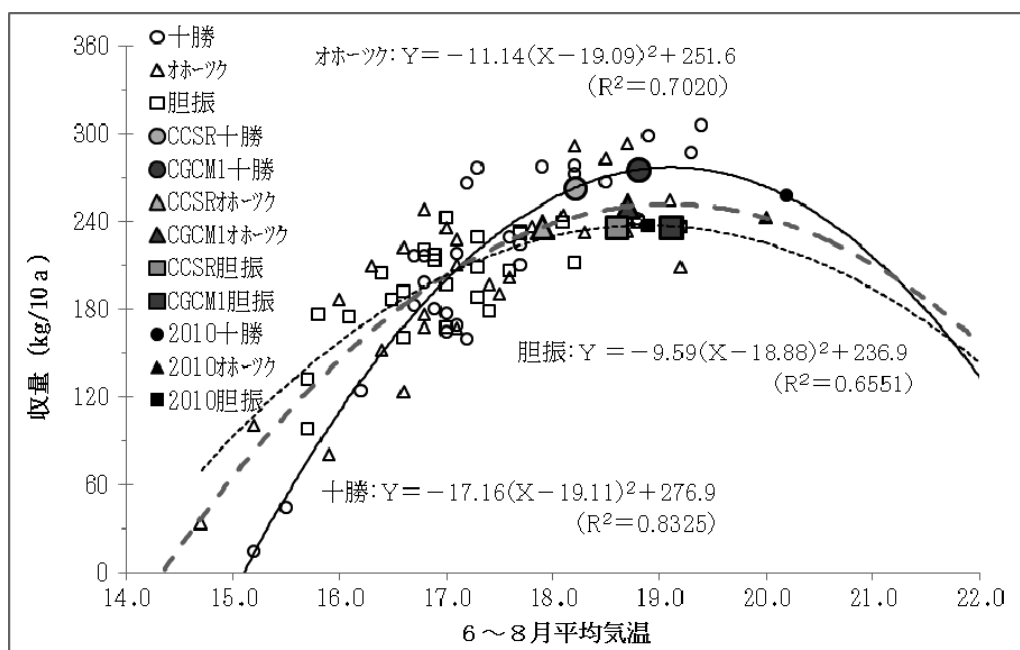
このように石狩・空知、上川・留萌の道央から道北では減収し、後志、渡島・檜山の道南では同水準で、胆振、十勝、オホーツクの道東では増収が見込まれる(表Ⅳ-5-8)。



図Ⅳ-5-2 6～8 月平均気温による小豆の地区平均収量の予測式 (1983～2009 年, 石狩・空知, 上川・留萌)



図Ⅳ-5-3 6～8 月平均気温による小豆の地区平均収量の予測式 (1983～2009 年, 後志, 渡島・檜山)



図Ⅳ-5-4 6～8月平均気温による小豆の地区平均収量の予測式（1983～2009年，胆振，十勝，オホーツク）

表Ⅳ-5-8 6～8月の平均気温による2030年代の各地域の収量予測

地 域	アメダス 地点	現在（1971-2000年）		2030年代（CCSRモデル）		2030年代（CGCM1モデル）	
		6-8月平均 気温（℃）	地域収量 （kg/10a）	6-8月平均 気温（℃）	地域収量 （kg/10a）	6-8月平均 気温（℃）	地域収量 （kg/10a）
石狩・空知	岩見沢	18.9	201	20.6	196	21.3	186
上川・留萌	旭川	19.2	201	20.5	192	21.3	156
後志	倶知安	18.3	231	19.3	230	19.8	212
渡島・檜山	大野	18.6	187	20.3	195	20.7	187
胆振	苫小牧	17.2	210	18.6	236	19.1	236
十勝	芽室	17.4	226	18.4	268	19.1	277
オホーツク	境野	17.1	208	18.4	246	19.3	251

2009年における全道各地の小豆栽培面積を用いて2030年代の全道小豆生産量をこれらの式から予測すると、表Ⅳ-5-9のようになる。すなわち、CCSRによる予測では、石狩・空知および上川では現在に比べやや低収となり、後志、渡島・檜山では現在並からやや多収となり、胆振、十勝、オホーツクでは多収となる。全道では

およそ12%程度増収する。一方、CGCM1による予測では、石狩・空知、上川地域では明らかに減収し、後志、渡島・檜山地域では現在並～やや減収し、十勝、胆振、オホーツクでは多収となり、全道的には11%程度増収すると予想される。

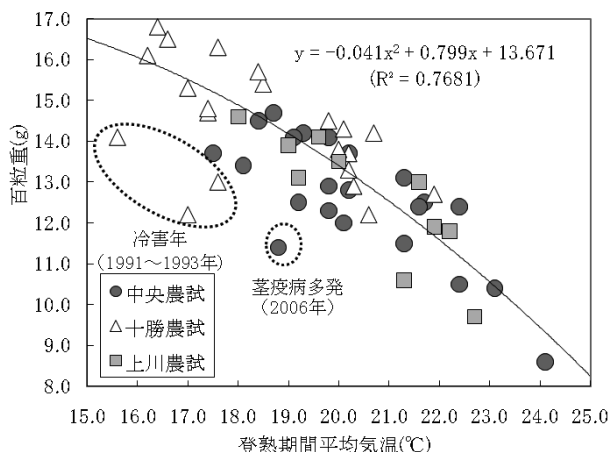
表Ⅳ-5-9 2009年の作付面積下での地域別収量の予測

地 域	2009年 作付面積 (ha)	現在（1971～2000年）		2030年代（CCSRモデル）		期間 対比 (%)	2030年代（CGCM1モデル）		期間 対比 (%)
		地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)	地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)		地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)	
石狩・空知	2,058	201	4,137	196	4,034	98	186	3,828	93
上川・留萌	2,903	201	5,835	192	5,574	96	156	4,529	78
後志	2,032	231	4,694	230	4,674	100	212	4,308	92
渡島・檜山	882	187	1,649	195	1,720	104	187	1,649	100
胆振	1,426	210	2,995	236	3,365	112	236	3,365	112
十勝	12,523	226	28,302	268	33,562	119	277	34,689	123
オホーツク	1,357	208	2,823	246	3,338	118	251	3,406	121
全道	23,181	218	50,435	243	56,267	112	241	55,774	111

※期間対比は、各々現在に対する2030年代予測値での地域収量の割合を示す。

(4) 品質の推定

1989～2009 年の中央農試、上川農試、十勝農試の作況データ（上川農試は 2001～2009 年）について、場所・年次における百粒重と登熟期間の気温との関係を見ると、登熟期間の気温が高くなるにしたがって百粒重は低下し、低下の割合も大きくなっていった（図Ⅳ-5-5）。この中で十勝農試の 3 カ年と中央農試の 1 カ年はこの傾向から外れるが、いずれも冷害により登熟後期に十分な気温がなく、未熟粒が多かった事例や茎疫病の多発生により登熟期間が短くなった事例である。



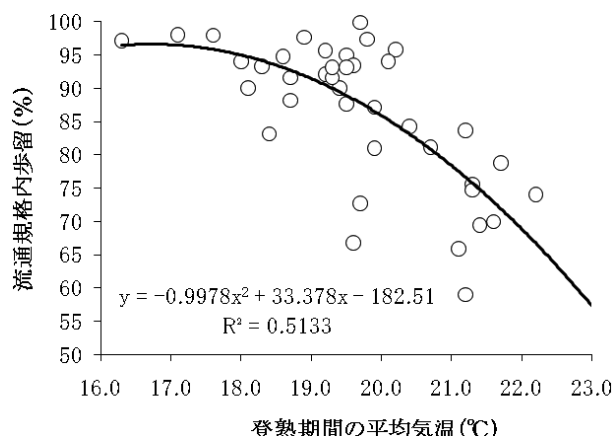
図Ⅳ-5-5 小豆の登熟期間の気温と百粒重の関係（1989～2009 年中央農試、十勝農試、上川農試）

生育異常年を除くこれら 39 点のデータを用いて、登熟期間の平均気温（X）から百粒重（Y）を推定する以下の式を得た。

百粒重推定式：

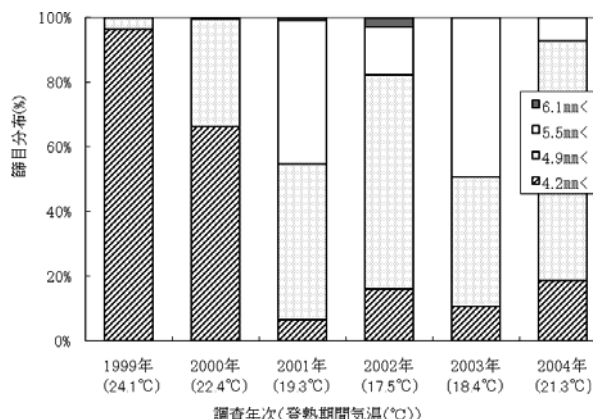
$$Y = -0.041X^2 + 0.799X + 13.671 \quad (R^2 = 0.7681)$$

また、登熟期間の気温と流通規格内歩留の関係を調べるため、2006～2009 年の十勝農試生産力検定試験、上川農試、中央農試、道南農試の地域適応性検定試験、全道 10 か所のべ 41 試験における登熟期間の平均気温と流通規格内歩留（4.7 mm 篩目上率）の関係をみた（図Ⅳ-5-6）。登熟期間の気温が 18.8℃を超えると流通規格内歩留は 90%程度となり、21.0℃を超えるとおよそ 80%以下に規格内歩留が低下する。



図Ⅳ-5-6 小豆の登熟期間の気温と流通規格内歩留の関係（2006～2009 年生検、地域適応性検定試験および奨励品種決定現地調査）

中央農試における 1999～2004 年の 6 年間の「エリモショウズ」の粒度分布を調べると、登熟期間の気温の上昇により小さい規格の子実割合が多くなり、とくに登熟期間が 21℃以上の事例では流通規格内歩留（4.2 mm 篩目上）に満たない子実の割合が著しく増えた（図Ⅳ-5-7）。



図Ⅳ-5-7 登熟期間の気温と篩目分布の関係（中央農試、エリモショウズ）

4) 考 察

(1) 気象要因と小豆の生育

気象要因と小豆の生育に関しては、生育期間と気温の影響が大きく、気温の上昇により生育期間が短くなる。一方、各地域の収量は、6～8 月の平均気温が高くなるにつれ増加するが、18.5～19.5℃以上になると低下する傾向にある。一方、十勝農試では生育期間の気温と収量との間に相関は低く、気温による収量変動は少ない。これは十勝農試が十勝中央部にあり、地域内で比較的温暖な場所に位置しているため収量レベルが高く、この期間（1989～2010 年）の気温では低温による低収が少なかった。

たこと、高温の年次では生育量が旺盛で倒伏が発生し、高温条件下でも多収とはなっていないことによるものと思われる。一方、十勝管内では山麓や沿海部など気象条件の厳しい地域もあり、低温年では生育量不足や開花期の着莢障害、生育遅延による霜害などにより低収となり、高温年にはこれら低収要因の影響がなく、生育量が多くなり、多収となる。百粒重が低下するにもかかわらず多収になるのは、着莢数や一莢内粒数の増加が著しく多くなるため、一般に小豆の一莢内粒数の変動は少ないことから、十勝管内の多収要因は着莢数の増加によるものと考えられる。

（２）温暖化による小豆生育の変化

①成熟期の予測

播種後の日平均気温により開花始と成熟期を推定する式を得た。この式は高い確率でおよそ3日以内の誤差で推定することが可能である。しかし、1984年のように干ばつ発生年では推定値に比べ、かなり成熟期は早くなることがある。2010年も生育期間が推定値よりかなり早くなった（－12日）。2010年は生育期間の気温が観測史上最も高く、高温障害により後期に開花した花が結実しなかったため成熟期が早まり、推定式が当てはまらなかったと考えられる。

この推定式を用いてCCSRとCGCM1による2030年代の道内各地の成熟期を推定したが、8月下旬～9月上旬に成熟する地点が多く、生育期間が5～23日短くなり、とくに冷涼な地域では成熟期の前進が顕著であった。

②収量の予測

各地域の代表地点の日平均気温から地域収量を推定する式を得た。石狩・空知、後志、上川など道央部では比較的決定係数が低いのは、気温以外の要因として土壌の排水不良による湿害や干ばつの発生、短期輪作による病害の発生、収穫前の長雨などによる製品歩留低下などが考えられる。

これら推定式を用いた2030年代の収量予測では、現在に比べ北海道全体の生産量としては増収すると推定された。地域別に見ると石狩・空知、上川のような北海道でも比較的暖かい地域では2030年代では小豆にとっては温暖過ぎ、減収するとみられ、高温年にはかなり減収すると予想される。一方、胆振、十勝、オホーツクでは多収となる。しかし、2030年代の予想は平均的な気象条件を想定しているものであり、冷害の発生は少なくなるものの、温暖化と共に予想される現在ではみられない高温年や高温に伴う干ばつの発生、集中豪雨による湿害などの頻度が多くなる懸念があり、平均的な気象、生育では予想できない災害の発生が収量変動を大きくすることが考えられる。

③品質の予測

登熟期間の温暖化に伴い、百粒重の低下が著しくなることが予想される。2つのモデルを用いた2030年代の登熟期間平均気温の予測（表Ⅳ－5－6、表Ⅳ－5－7）では、とくに登熟期間の気温が21℃以上となる上川中央以南の道央・道南地域では「エリモシヨウズ」、「きたのおとめ」、「しゅまり」など中生普通小豆を栽培した場合、普通小豆規格（篩目4.2mm以上）の歩留が低下し、製品収量が低下することが懸念される。加えて、温暖化で粒色が濃くなることが知られており、外観品質が低下することも懸念される。また、成熟期前後の気温が高いため、この時期の長雨により雨害粒が発生する可能性も高くなる。

④その他の障害などの予測

温暖化に伴い小豆で注意すべき病害として、アズキ茎疫病、アズキ萎凋病、アズキ菌核病、アズキ灰色かび病、アズキ茎腐細菌病、アズキさび病、モザイク病（インゲンマメモザイクウィルス、キュウリモザイクウィルス）などがある。6～7月の気温上昇と降水量増加に伴い、排水不良畑ではアズキ茎疫病的発生が増える可能性がある。同様にこれまで上川、空知地域を中心に発生がみられたアズキ萎凋病が他地域に広がる懸念もある。また、温暖化に伴い、小豆の生育が良好になり、繁茂・倒伏するとアズキ菌核病やアズキ灰色かび病の被害が多くなると考えられる。生育期間が全般に温暖化することによりこれまで道央・道南地域に限定されたアズキさび病の被害が道東にも広がる可能性もある。さらにモザイク病は本州を中心に被害がみられるが、生育期の温暖化により道央や道南で発生が広がる可能性もある。

害虫では生育期間温暖化することによりメイガやカメムシによる食虫害や冬期の温暖化によるアズキゾウムシなどの貯穀害虫の発生・被害の増加が懸念される。

このように気象が温暖化することにより病虫害が増える可能性があり、対策が必要となると思われる。

（３）2010年における各地の生育

2010年は小豆の生育期間を通じて高温、多雨であり、CCSRやCGCM1で予測される2030年代以上の高温条件であった。そこで中央農試、上川農試、十勝農試における小豆の生育をみると、表Ⅳ－5－10のように、成熟期は推定式による予測に比べ、各試験地ともに早まった。また、百粒重は推定式により算出される百粒重に比べ小さかった。これは開花後期に咲いた花が結実せず、開花初～中期に結実した莢の割合が多くなったためと考えられる。それらの莢は登熟期間の気温がより高い条件で登熟したため、推定される百粒重よりも小さくなった。さらに子実重は各試験地ともに2010年は平年に比べ大きく減収しており、モデルで推定された気温以上に高温となる年ではより減収する可能性も示唆される。2030年代に

においても現在と同等の年次間変動があるとする、平均値では多収であっても、個々の高温年ではかなり減収す

る年次もあると考えられる。

表Ⅳ-5-10 2010年における各農試における小豆の生育

試験地	播種期 (月日)	開花始 (月日)	推定開花始との差 (月日)	成熟期 (月日)	推定成熟期との差 (月日)	生育期間 気温 (℃)	登熟期間 気温 (℃)	主茎長 (cm)	着莢数 (/株)	子実重 (kg/10a)	平年対比 (%)	百粒重 (g)	推定百粒重との差 (%)	流通規格歩留 (%)
中央農試	5.24	7.18	(+1)	8.29	(-8)	19.5	22.4	69.6	52.6	257	79	10.5	(-0.7)	43.4
上川農試	5.24	7.19	(+6)	8.27	(-7)	20.4	22.7	100.0	56.0	267	80	10.6	(-0.3)	74.2
十勝農試	5.31	7.19	(-1)	8.31	(-12)	20.1	22.4	75.3	53.5	239	65	10.8	(-0.4)	87.1

注) 気象データは中央農試：アメダス長沼、上川農試：アメダス比布、十勝農試：アメダス芽室を使用。

5) 2030年代の予測に基づく技術的対応方向

(1) 栽培による対策

温暖化気候下での栽培上の対策については、初霜が遅れることを考慮すると、播種期を遅らせ成熟期を遅くすることで、登熟期間の温度を低くすることが考えられる。小豆では晩霜の早期化により播種期を現在よりも早くした場合、初期生育は現在と変わらず、開花が早まるが、開花以降の登熟期間の気温が高くなり、百粒重の低下がし、減収が予測されることから播種期を早めるメリットは少ないと考えられる。晩播については、すでに用いた成熟予測式を用い、成熟期からDVIを逆算し播種日を予測できる。初霜害を受けないように成熟期を初霜日から15日前に設定すると、表Ⅳ-5-11のような播種期を設定できる。これはあくまでも5月下旬播種から導き出された予測式を用いているため、検証が必要である。播種期が遅くなり初期生育が高温条件では、下位節の花芽分化が早くなり分枝が花芽になり予定より早期に開花し、分枝が少なくなることから開花期間が短くなり、早熟化する可能性がある。また、6月下旬以降の播種の場合、短日条件になりつつあることから北海道の品種であっても早期に花芽分化することも考えられ、播種期後退に適した生態型品種の育成が必要となってくる。実際、予測されるような気温経過をたどる東北地方中部では、6月下旬に播種し、8月上旬に開花始、10月中旬に成熟するような品種が栽培されている。

(2) 品種による対策

生育期間中の気温が高くなり、生育期間や登熟期間が短くなることを想定すると、これまでの中生より晩生の品種が必要となってくる。また、登熟期間の気温が高くなることから粒大が大きく、高温登熟条件でも粒色が濃くならない品種が望ましい。平成22年に優良品種となった「きたあすか」は、中生の品種であるが、粒大が大きく、粒色が明るく、このような気象条件下に適した特性を持つ。さらに育成系統には成熟期が“中の晩”の普通小豆で、「エリモショウズ」対比107～120%の多収系統があり、粒大がやや大きく、粒色は明るい。道央や道南

など温暖化の著しい地域では短日要求性を持つ本州型の生態型を持つ品種が必要になってくる可能性もある。

(3) 生産地の移動による対策

温暖化により新たに小豆の栽培に適した地域が出てくる可能性がある。表Ⅳ-5-8に示したように、小豆の地域別収量予測では、十勝、オホーツク、胆振での収量が増加すると推定された。気温以外にも日射量や日照時間、土壌条件などの環境が揃うことが必要であるが、これまで小豆栽培が少なかったオホーツクや名寄以北の地域、弟子屈、中標津などは今後温暖化に伴い、豆類の導入が振興される可能性がある。その際、機械化収獲適性や耐冷性など現在の品種をさらに改良する必要があるが、輪作体系上、豆類の割合が少ない地域であるだけに今後の小豆の安定供給には重要な地域となる可能性がある。

表Ⅳ-5-11 初霜前の収穫を前提とした播種期の予測結果

地点	CCSRモデル		CGCM1モデル	
	播種期 (月日)	成熟期 (月日)	播種期 (月日)	成熟期 (月日)
北斗	7.10	10.31	7.11	10.30
倶知安	6.20	10.07	6.21	10.07
岩見沢	7.01	10.17	7.04	10.18
滝川	6.25	10.12	6.27	10.12
旭川	6.25	10.11	6.26	10.11
富良野	6.19	10.05	6.21	10.04
名寄	6.16	10.05	6.20	10.05
留萌	7.06	10.28	7.07	10.29
網走	6.27	10.28	7.01	10.28
訓子府	6.07	9.28	6.10	9.28
苫小牧	7.03	10.27	7.05	10.27
大樹	6.15	10.07	6.19	10.07
芽室	6.11	10.03	6.14	10.04
上士幌	5.27	9.17	6.01	9.19
中標津	6.05	10.03	6.10	10.02

※各モデルの初霜-15日に成熟期となる播種期

6) 要 約

(1) 気象要因が小豆の生育に与える影響を検討したところ、生育日数は生育期間中の気温と負の高い相関がみられた。また、収量構成要素では、百粒重は登熟期間の気温と負の高い相関がみられた。

(2) DVR を用いて出芽始、開花始と成熟期の推定を行ない、開花始については出芽始を推定する2式と開花始を推定する2式の計4式で推定でき、成熟期については2式によりおよそ3日以内の誤差で推定することが可能であった。また、アメダスポイントの日平均気温から地域の収量を予測する式を道内7か所について作成した。決定係数 R^2 は 0.11~0.83 であった。

(3) 播種期を現在並とすると、開花期と成熟期は、CCSR では現在より7~10日、CGCM1 では9~12日程度早まり、栽培可能地域が根室管内にまで拡大する可能性が示唆された。

(4) 収量を推定する式から2030年代の収量を予測したところ、現在に比べCCSRでは、十勝・オホーツク・胆振地域で12~19%の増収、後志・渡島・檜山地域では0~4%の微増、石狩・空知・上川地域では2~4%の減収となり、各地域の作付面積を現在並とすると、全道の生産量は12%の増収と見込まれた。CGCM1でも各地域の収量動向は同様に、北海道全体としては11%増収すると予測された。

(5) 登熟期間の気温から百粒重を推定する式を得た。この式を用いると2030年代には道南、道央の一部で流通規格内歩留の低下が懸念された。

7) 引用文献

- 1) 村田吉平. 北海道における作物育種. (株北海道協同組合通信社. 1998. p. 148~152
- 2) 村田吉平. 我が国におけるマメ類の育種. (株明文書房. 1987. p. 364~373

(佐藤 仁)