

日本農業気象学会 2014 全国大会公開シンポジウム報告 「北の農業は温暖化にどう向き合っているか？」 ー北海道ブランド力の向上に向けてー

広田知良¹・五十嵐俊成²・下田星児³・藤岡和博⁴・東山哲智⁵
大塚慎太郎⁶・矢崎友嗣⁷・鮫島良次⁷

¹ 農研機構北海道農業研究センター 生産環境研究領域

² 道総研上川農業試験場

³ 農研機構北海道農業研究センター 畑作研究領域

⁴ JA 帯広かわにし 青果部

⁵ 東山農場(北海道長沼町)

⁶ 大塚農場(北海道当別町)

⁷ 北海道大学大学院農学研究院

1. はじめに

日本を代表する食料生産基地である北海道では、冬季積雪厳寒・夏季冷涼の厳しい寒冷気候下で農業が行われている。北海道農業は開拓以来、長い年月をかけて短い生育期間や冷害を徐々に克服し、寒冷気候に適応した大規模農地での栽培体系を確立してきた。北海道は温暖化で農業にプラスの効果を受けるとする楽観的な評価もあるが、2010 年には開拓以来初めて「高温による」深刻な不作を経験した（たとえば、北海道農政部, 2011; 広田ら, 2011）。北海道の食料自給率（カロリーベース）は通常は 200% 前後であるが、2010 年の自給率(173%)は、冷害年であった 2009 年の食料自給率(190%)より低下した（農林水産省, 2014）。以降直近の 2013 年まで高温の夏は 4 年連続している。さらに冬季についても道東地方の土壌凍結深の顕著な減少傾向（Hirota *et al.* 2006; 広田ら, 2008）が続くなど、これまでに経験のない温暖化の影響が北海道の農業に現れている。

このように温暖化が進行し、解決を要する課題が次々と現れる中、日本農業気象学会の役割の重要性は益々高まっており、本大会のホストである北海道支部は、2012 年に支部 60 周年記念事業として「北海道の気象と農業（北海道新聞社刊）」を出版し、気象や農業における「北海道の今」の現状と課題、

研究成果を多岐に渡って伝えている（日本農業気象学会北海道支部, 2012）。また、当学会では温暖化フォーラムでも北海道における温暖化の農業適応について議論を実施している（広田ら, 2012）。

ところで、北海道の米は、食味が良くないなどの理由から、かつては“やっかいどう米”と揶揄されていたが、いまや我が国トップクラスの高品質な品種がいくつも開発され、北海道は良質な米の供給地となるに至っている。国内生産量の約 7 割を占める北海道産小麦も、多収の品種が開発されると共に、これまで輸入に頼っていたパン用小麦でも安定生産が可能な高品質な品種が開発され、我が国の食料自給率の向上へ新たな道を開いた。さらに、十勝地方の長いものように、台湾や米国にも輸出され、海外に打って出られる高収益な作物に成長しているものもある。これらの北海道産農産物のブランド力の向上には、品種開発ばかりでなく、先進的な気象情報の活用や寒地の気象を巧みに活かした栽培管理方法の導入が貢献している。北海道の大規模土地利用型農業の現場では、これまでのお天気任せの農業から、近年は気象を上手に活用した技術への進展が著しい。

本シンポジウムは、北海道での土地利用型農業における気象に関係した情報利用・栽培技術の最前線の先進的な事例を、研究者や生産現場関係者から学び、さらに、北海道の若手気鋭の生産者をコメンテータとして招き、研究と生産現場の双方向のやりとり、かつ未来志向の農業気象研究や対応策の議論を活発に行うことを目的に実施した。

生産者でも特に若手の方をコメンテータとして招く事のねらいは、本シンポジウムに次のような大き

<http://www.agrmet.jp/sk/2014/B-1.pdf>

2014 年 8 月 3 日 掲載

Copyright 2014, The Society of Agricultural Meteorology of Japan

な特徴を持たせることでもあった。日本農業気象学会 2013 年全国大会の温暖化フォーラム（石川）において「温暖化（気候変動）を研究している人は、農業がどう変化してゆくかを想定しないままに、リスクを減らすなどの対策を研究しているように見える。実際に必要なのは、その両方を合わせて考えることである」との問題提起と議論が展開された（田中ら、2013）。そこで、企画者（広田）はこの課題に対して、近年気候変動や気象の変化とも関連しながら変化の大きな事例を講演で取り上げ、そして 20 年後、30 年後も現役であろう若手の生産者を交えて取り組むことで、シンポジウムの企画への重要な意図として試みることにした。なお、「4. おわりに」においては本シンポジウム企画者の個人的見解が強く反映されていることを予めお断りする。

2. 開催日程と講演題目

主催：日本農業気象学会 2014 年全国大会事務局

日時：2014 年 3 月 19 日（水）15:00～17:30

場所：北海道大学学術交流会館（札幌市北区北 8 条西 5 丁目）大講堂

テーマ 北の農業は温暖化にどう向き合っているか？－北海道ブランド力の向上に向けて－

講演

1. 北海道から日本の米を ～「ゆめぴりか」おいしさの秘密～

五十嵐俊成（道総研上川農業試験場）

2. 小麦生産は高温影響を受ける？～北海道は気象応答の最前線～

下田星児（農研機構北海道農業研究センター）

3. 十勝川西長いもの取組みと気象的技術の側面

藤岡和博（JA 帯広かわにし）

コメンテータ 東山哲智（東山農場）・大塚慎太郎（大塚農場）

司会 広田知良（農研機構北海道農業研究センター）、
鮫島良次（北海道大学）

3. 講演の要旨

3.1 北海道から日本の米を～「ゆめぴりか」おいしさの秘密

1) はじめに

北海道は、水稻の作付面積 112,000 ha、収穫量 629,400 t（平成 25 年北海道農政事務所統計部）の全国 2 位の米産地である。しかし、かつて北海道米は、品質と食味が劣り「やっかいどう米」・「鳥またぎ米（不味くて鳥もまたいで通る米）」と揶揄され、減反政策の開始とともに大規模に転作の対象とされた。当時、「このままでは北海道稲作が崩壊する」との

危機感から、北海道米の生き残りを懸けた良食味米の育成の機運が高まった。

1980 年から開始した「優良米の早期開発」に続き、「高度良食味品種の開発」、「極良食味米品種の早期開発」など良食味育種を強化促進する一連の研究が実施された。それらにより「ゆきひかり」（1984 年）、「きらら 397」（1988 年）、「ほしのゆめ」（1996 年）、「ななつぼし」（2001 年）、「ふっくりんこ」（2003 年）、「ゆめぴりか」（2008 年）が育成され、北海道米の食味水準を飛躍的に向上させた。

さらに、北海道米の食味向上を図るため、品種の栽培特性を明らかにするとともに、タンパク質含有率の低い米の生産を目的とした高品質米生産のための肥培管理技術の開発が行なわれ、水田土壌の窒素肥沃度に基づく窒素施肥指針を明らかにした。また、窒素吸収の観点から、初期生育を促進し、生育後期の窒素吸収を高めないように施肥方法およびケイ酸施用により土壌中のケイ酸肥沃度を高め窒素玄米生産効率の向上と不稔軽減や登熟力向上技術を開発した。

これらの品種改良と栽培技術の向上により、ついに北海道米は、日本を代表するトップ銘柄ブランド米である「コシヒカリ」に追いついた。北海道から満を持して全国にデビューした「ゆめぴりか」は、2010 年から財団法人日本穀物検定協会による「米の食味ランキング」で、最高位の「特 A」を 2 年連続で獲得した。さらに、「ゆめぴりか」の食味の良さが広く首都圏などでも受け入れられ、2013 年産の「ゆめぴりか」の新米の卸価格は、60 キロ当たり 16,700 円で新潟コシヒカリの同 16,300 円に比べて 400 円（2.5%）高であった。

そこで、本稿では良食味米の選抜についての最近の知見および「おいしいコメ」として全国的に評価が定まりつつある「ゆめぴりか」のおいしさの秘密について紹介する。

2) 良食味米の選抜における食味関連成分と新しい食味評価法の開発

(1) 米の食味と澱粉の分子構造

米の消費形態には外食、中食、内食の 3 つの消費形態があり、従来北海道米は値ごろ感があったため業務用（外食・中食）として利用されてきた（五十嵐、2004）。また、コンビニエンスストアが増加し、おにぎりや弁当など中食需要が増えるに従い、「冷めても美味しい米」も求められるようになった。このように近年、業務用米の消費が増加する一方で、家庭内で消費される内食需要では魚沼産コシヒカリに代表される良食味ブランド品種も求められている。これらのことから、北海道米の需要を拡大し消費量を

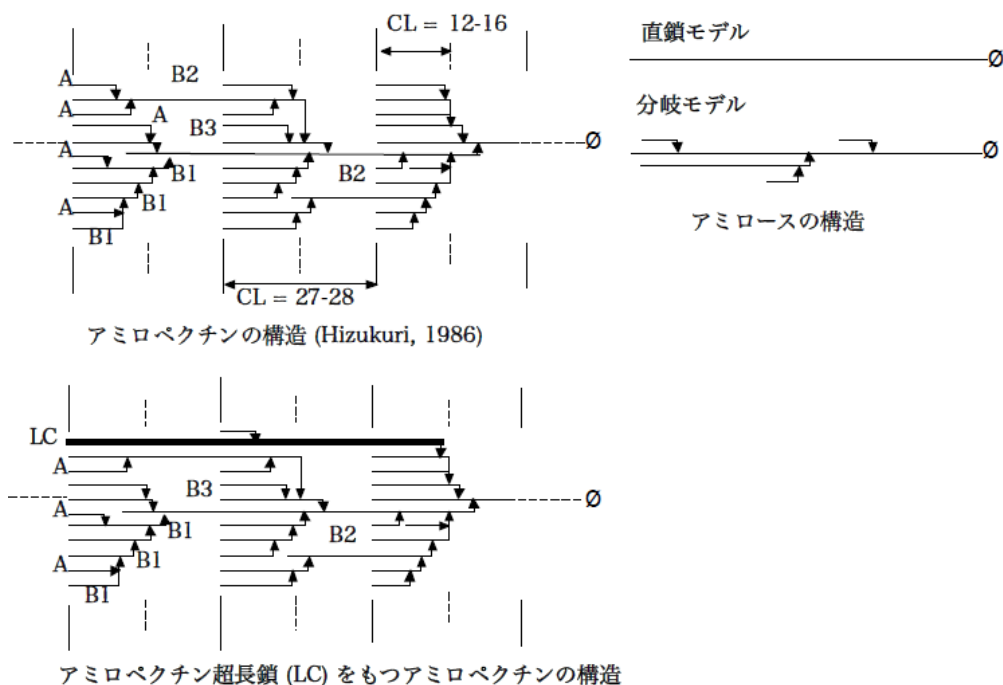


図1 アミロースとアミロペクチンの構造

増やすためには、実需者ニーズに対応した米の生産が必要となっている。

一方、米の食味はタンパク質含有率と澱粉の構成成分であるアミロース含有率が少ないほど良いとされている。北海道米のアミロース含有率は本州産良食味米に比べて高かった。この理由としては、登熟温度(出穂期後40日間日平均気温積算値)が低いことがあげられる。また、このことが北海道米の冷めると硬くなり易く食味が劣る要因である。このため、北海道米の良食味育種では、タンパク質含有率とアミロース含有率による選抜を強化してきた(稲津, 1988)。

ところで、当時、このアミロース含有率と呼ばれていたものは、アミロースとアミロペクチンの長い側鎖を合わせた含有率であり、これは、見かけのアミロース含有率とみなせる。したがって、従来のアミロース含有率(見かけのアミロース含有率)はアミロペクチンに含まれる超長鎖(SLC) (Takeda *et al.*, 1987)の影響を受けている可能性が考えられた。一方、澱粉の約80%を占めるアミロペクチンの分子構造が米飯の物性と密接にかかわっていることが明らかとなった。そこで、澱粉の分子構造と食味の関連性に着目した。澱粉はアミロースとアミロペクチンの2つの分子から構成されている。どちらも基本構造単

位はグルコースが α -1,4-結合した α -1,4-グルカンである。アミロペクチンは α -1,6-結合により分岐構造をもち、これらのクラスターが結合した構造をしている(図1)。澱粉を合成する α -1,4-グルカン鎖の重合度は幅広く分布しており、 α -1,4-グルカン鎖の長さやその構成割合が米飯の物性に大きく関与している。

(2) 簡易に澱粉の分子構造を推定するマルチチャンネルオートアナライザーの開発

オートアナライザーによるアミロース含有率の測定は、稲津(1982)が水稻良食味品種の育種における簡易迅速な分析方法として確立し、現在では育種現場で広く活用されている。この方法では、前述したアミロペクチン SLC も含めた値であることから、食味に及ぼす影響が、真のアミロースの影響かアミロペクチン SLC の影響か区別できない。

ヨウ素澱粉反応は、 α -1,4-グルカン鎖にヨウ素イオンが取り込まれて呈色する反応であり、 α -1,4-グルカンの長さによって呈色度が異なる。つまり、 α -1,4-グルカンとヨウ素の複合体の吸収波長は、 α -1,4-グルカンの長さによって変化する。ヨウ素呈色反応の色調は、 α -1,4-グルカンの鎖長と関係があり、鎖長が長いほど青く呈色する(Swanson, 1948)。

つまり、アミロペクチン分子のヨウ素呈色反応の色調がアミロースと異なるのは、アミロースに比べ

て α -1,4-グルカンの直鎖状分子が短く最大吸収波長が短いため、アミロペクチンの含量が高いほど最大吸収波長が短く、また、同時にアミロース含有率が低くなるため、 α -1,4-グルカンとヨウ素の結合量が少なくなり長波長側へシフトする力が弱いと推察される。これを応用すれば、最大吸収波長を測定することにより、アミロース含有率とアミロペクチン含量の推定が可能と考えられる。

そこで、五十嵐・上野(2004)は、従来のアミロースオートアナライザーにヨウ素吸収曲線を自動測定できるマルチチャンネル検出器を備えた新たなオートアナライザーを開発した(図2)。

(3) ヨウ素吸収曲線のマルチスペクトル解析による老化性の推定法

一般に、良食味米のアミログラムの特徴は、最高粘度とブレイクダウン(最高粘度-最低粘度)が大きく、セットバック(最終粘度-最低粘度)の小さいことが知られている。一方、北海道米は、最高粘度が低く、糊化開始温度が高く、セットバックが大きい(瀬戸・岡部, 1963)。これは、アミロース含有率が本州産良食味米よりも高く、老化し易い(冷めた後に硬くなり易い)ことが要因である。

そこで、老化しにくい米の育種開発に資するため、マルチチャンネル検出器を備えた新たなオートアナ

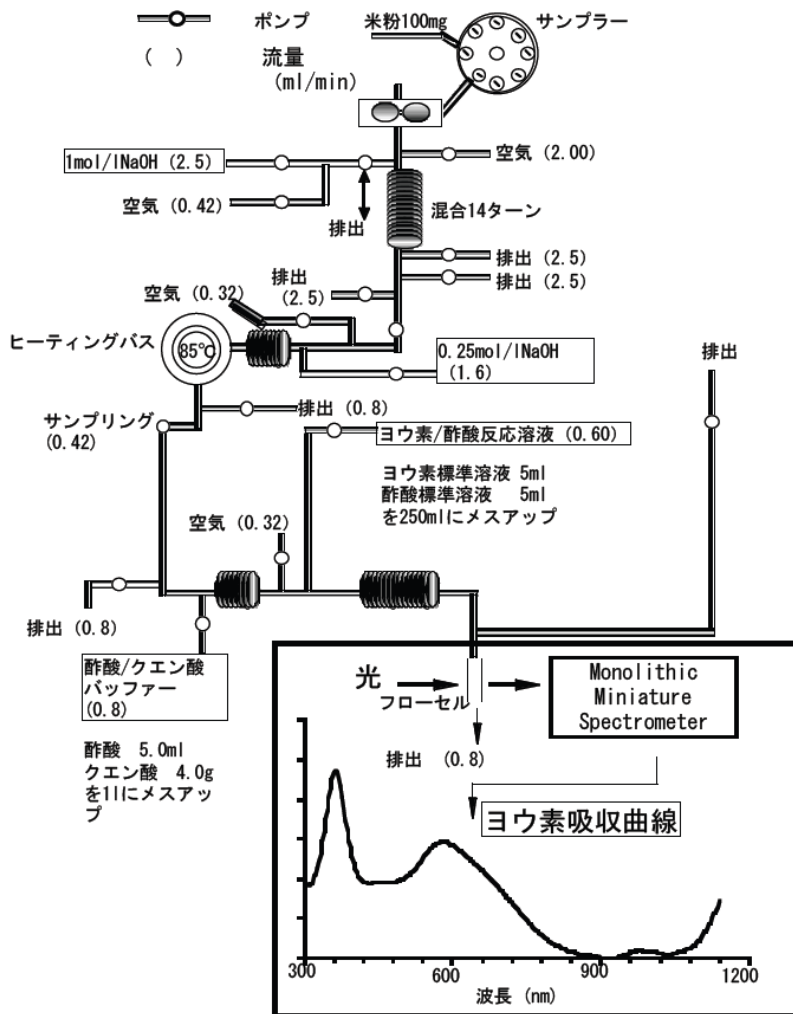


図2 オートアナライザーを用いたヨウ素吸収曲線の分析プロセス)

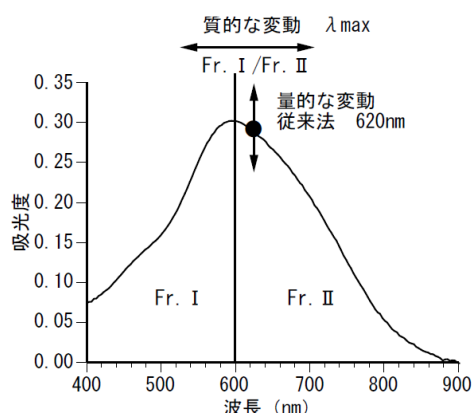


図3 ヨウ素吸収曲線の概念図(五十嵐ら, 2009)

ライザーを用いて、育種選抜に活用できる簡易な老化性指標(RI)の推定法を開発した(五十嵐ら, 2009)。ヨウ素吸収曲線は、600 nm 付近をピークとする曲線である。これを便宜的に 600 nm で区分し、ピーク面積($\Sigma 400 \sim 900$ nm), 最大吸収波長(λ_{\max}), 400 nm ~ 600 nm の吸光度の積算値(Fr.I)と 600 nm ~ 900 nm の吸光度の積算値(Fr.II)の比率(ピーク面積比, Fr.I/II)を求め(図 3), これらの値と熱糊化特性値の相関分析を行なった。この結果, セットバックは、ピーク面積比 Fr.I/II が 1.25 未満では急激に増加するが, 1.25 以上ではほぼ一定であった。また, ピーク面積比 Fr.I/II (X)とセットバック(Y)の関係から, $Y = (29.7X - 27.1) / (0.73X - 0.72)$ ($R^2 = 0.799$)の回帰式を得た。これにより, ピーク面積比 Fr.I/II を測定するだけで, セットバックの推定が可能となった。また,

セットバックと大坪ら(2007)の老化性指標(RI)の間には高い正の相関($r = 0.973$, $p < 0.001$, $n = 21$)があることを認めた。さらに, ピーク面積比 Fr.I/II (X)と老化性指標(RI)の関係から, $RI = (221.5X - 180) / (126.0X - 120.4)$ ($R^2 = 0.905$)の回帰式を得た。以上のことから, ヨウ素吸収曲線のマルチスペクトル解析により老化性の推定が可能となった。

(4) マルチスペクトルオートアナライザーによる良食味米の選抜指標

育成材料および府県産良食味品種を供試して, アミロペクチン短鎖の割合と Fr.I/II の関係を示す(図 4)。アミロペクチン短鎖の割合と Fr.I/II の間には 0.1%水準で有意な正の相関関係があった。Fr.I/II はアミロペクチン短鎖の割合が多いほど大きいことが明らかとなった。

ところで, アミロペクチン短鎖は, アミロペクチンクラスターを構成する鎖に相当し, 米飯の水分保持機能と密接な関係があり, アミロペクチン短鎖が多いほど, 柔らかい食味となると考えられる。

先に述べた老化性指標とアミロペクチン短鎖の関係から, Fr.I/II の最適な範囲は 1.25 ~ 1.30 であり, アミロペクチン短鎖の割合の適正範囲は 64 ~ 67%と推定された(図 4)。また, 最大吸収波長とアミロペクチン短鎖の割合には負の相関関係が認められ, ヨウ素吸収曲線の最大吸収波長は 580 ~ 590 nm が最適範囲と考えられた(図 5)。

これらのことから, アミロペクチン短鎖の割合は「冷めても美味しい米」の選抜指標として有効と考えられる。また, マルチチャンネルオートアナライザーで簡易迅速に分析できるヨウ素吸収特性値 Fr.I/II は, アミロペクチン短鎖の割合と高い相関関係が認

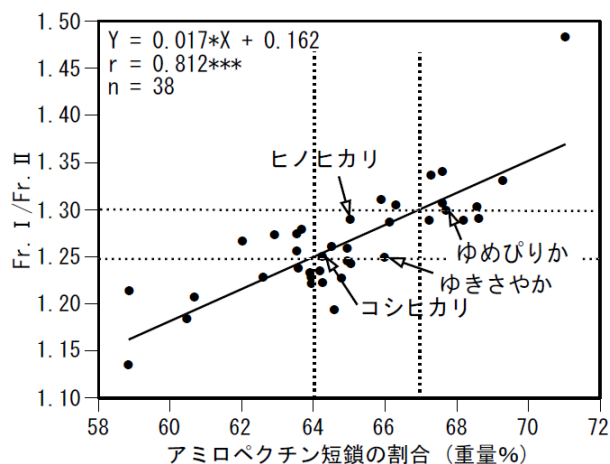


図4 アミロペクチン短鎖の割合と Fr. I / II の関係 (五十嵐, 2011)

められることから読み替えが可能であり、Fr.I/II 値で 1.25~1.30 が良食味米の目標値として妥当と考えられる。なお、最大吸収波長では 580~590 nm が目標値と考えられるが、最大吸収波長を解析するためにはピーク解析ソフトウェアが必要であり、吸光度の積算値の比である Fr.I/II を求める方が簡便である。

以上のことから、マルチスペクトルオートアナライザーによる良食味米の選抜指標は、Fr.I/II が 1.25~1.30 と判断した。なお、「おいしいコメ」として全国的に評価が定まりつつある「ゆめぴりか」は、概ねこの範囲であった。今後、新たな素材の探索などにおいて本装置は有効と考えられる。

3) 「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標

「ゆめぴりか」は、「ほしのゆめ」に比べて「粘り」と「柔らかさ」が優れ「口あたり」が良く、食味官能総合評価値は「コシヒカリ」並から優れていた。「ほしのゆめ」を基準とした場合「コシヒカリ」の食味官能総合評価値は、平均で+0.4 であった。このため、「ゆめぴりか」の食味目標を食味官能総合評価値で+0.4 以上とした(図 6)。アミロース含有率が低い場合、タンパク質含有率が高くても食味官能総合評価値+0.4 以上となる場合が多く、アミロース含有率の区分に応じてタンパク質含有率の基準を設定することが合理的である(図 6)。2009~2011 年の食味官能試験では、「ゆめぴりか」の食味官能総合評価値が「コシヒカリ」以上となる割合は、アミロース含有率 15~19%未満かつタンパク質含有率 7.5%未満、および、アミロース含有率 19%以上かつタンパク質含有率 6.8%以下の範囲において、各々95.4%、64.7%であった(図 6)。

以上のことから、「ゆめぴりか」の出荷基準値は、Ⅰ「アミロース含有率 19%未満の場合、タンパク質含有率 7.4%以下」、Ⅱ「アミロース含有率 19%以上の場合、タンパク質含有率 6.8%以下」とした。

4) 「ゆめぴりか」の栽培指針

タンパク質含有率 7.5%未満となる栽培条件は、窒素玄米生産効率(粗玄米重/成熟期窒素吸収量)では 55 以上、成熟期窒素吸収量は 10 kg/10a 以下である。これを満たす収量は、地帯別基準収量から 20 kg/10a 減じた量に相当した。この目標収量に対応する粒数は 28,000~32,000 粒/m²、穂数は 580~650 本/m² である(表 1)。また、アミロース含有率を 19%未満に抑える出穂

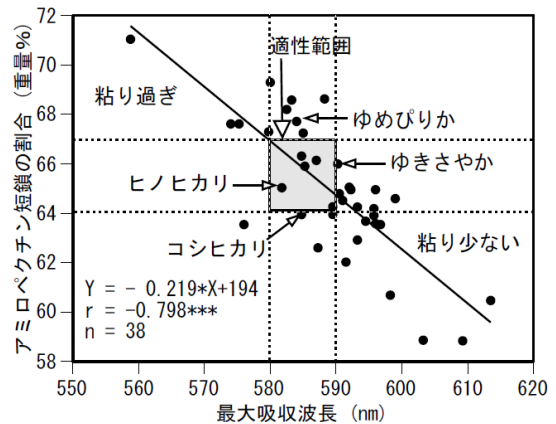


図 5 最大吸収波長とアミロペクチン短鎖の割合(五十嵐, 2011)

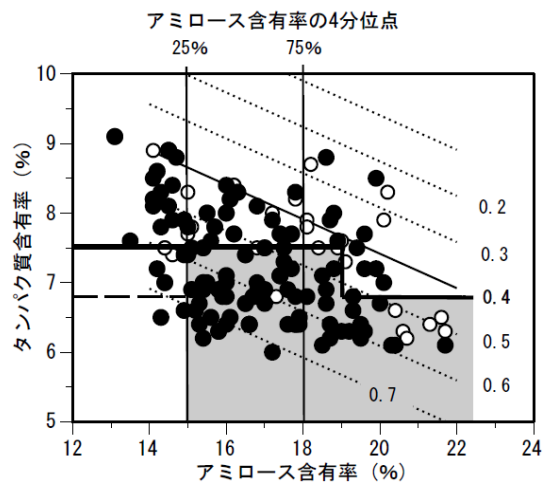


図 6 「ゆめぴりか」の食味管理目標 (2009-2011 年 上川農試・中央農試)

*図中の●は、各年次・試験場所の食味官能総合評価において南魚沼産コシヒカリ以上、○は南魚沼産コシヒカリ未満を示す。

**図中の斜線は重回帰式($Y(\text{食味官能総合評価値}) = 2.2656 - 0.1508 \times \text{タンパク質含有率} - 0.0377 \times \text{アミロース含有率}$, $R^2 = 0.11$ ($p < 0.0001$, $n = 180$)) による食味官能総合評価値の推定値を示す。

***アミロース含有率 15~19%未満かつタンパク質含有率 7.5%未満、19%以上かつ 6.8%以下において食味官能総合評価値実測値が南魚沼産コシヒカリ以上の割合は各々95.4% (63/66) , 64.7% (11/17) であった。

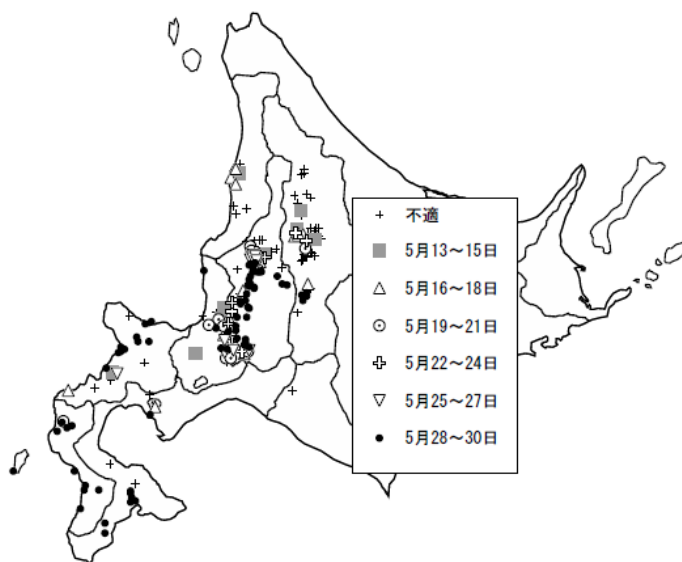


図7 アミロース含有率19%未満を確保できる成苗の移植晩限の一例

表1 「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標と栽培指針

出穂後20日間 日平均気温積算値 ¹⁾	430℃以上	430℃未満
アミロース含有率区分	19%未満	19%以上
タンパク質含有率	7.5%未満	6.8%以下
玄米品質	一等米(整粒歩合70%以上)	
成熟期窒素吸収量 ²⁾	10kg/10a以下	
窒素玄米生産効率 ²⁾	55以上	
目標収量 ²⁾	地帯別基準収量から 20kg/10a減じる	
粳数 ^{2),3)}	28,000-32,000粒/m ²	
穂数 ²⁾	580-650本/m ²	
出穂晩限 ¹⁾	出穂期後20日間日平均気温積算値 430℃以上を確保できる日	
移植晩限 ¹⁾	DVR法により推定した出穂期(平年) が出穂晩限と一致する移植日	
窒素施肥量 ^{2),3)}	地域の施肥標準量を遵守する	
収穫適期 ³⁾	出穂期後日平均気温積算値 950～1000℃	

1)アミロース含有率19%未満に対応, 2)タンパク質含有率7.5%未満に対応,

3)玄米品質一等米(整粒歩合70%以上)に対応

下線は本成績で新たに提案する事項を示す。

晩限ならびに移植晩限を算出し、その一例を示した(図7)。多肥条件では、窒素玄米生産効率が顕著に低下し、タンパク質含有率が高まった。一方、無窒

素や少肥条件でも初期生育量不足の影響から、窒素玄米生産効率が低下し、タンパク質含有率が高まる場合があった。したがって、タンパク質含有率7.5%

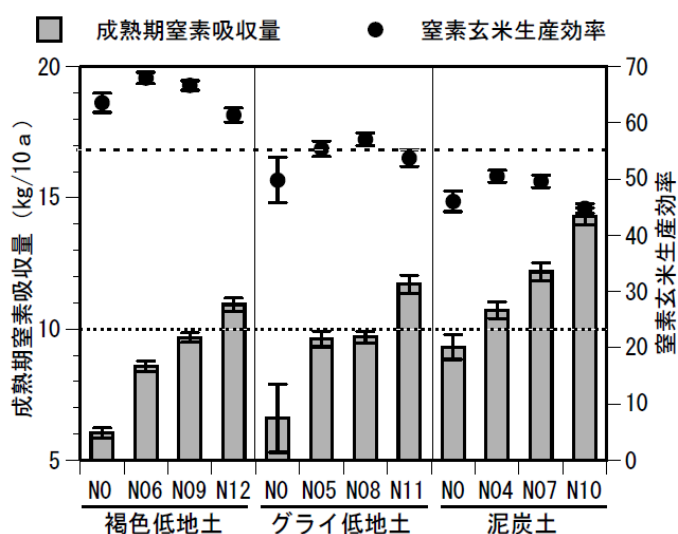


図 8 窒素施肥量と成熟期窒素吸収量および窒素玄米生産効率の関係
(2009-2012 ゆめぴりか 上川農試・中央農試) *エラーバーは標準誤差

未満を満たす窒素施肥量は、地域の施肥標準量を守守する必要がある。ただし、泥炭土ではいずれの窒素施肥量でも窒素玄米生産効率は 55 以上とはならなかった(図 8)。初期生育が不良な中央農試では、側条施肥により初期生育が改善し、玄米品質が向上する効果が認められた。「ゆめぴりか」の収穫適期は、整粒歩合および被害粒歩合の推移から、出穂期後日平均気温積算値が 950~1000℃に達した日が目安になると考えられた。なお、刈り遅れは腹白粒の増加を助長するので適期収穫を厳守する必要がある。以上をまとめ「ゆめぴりか」の品質・食味管理目標と栽培指針を示した(表 1)(長田ら, 2013)。

5)「ゆめぴりか」のアミロース含有率早期予測法

「ゆめぴりか」の出荷基準値はⅠ「アミロース含有率 19%未満の場合、タンパク質含有率 7.4%以下」、Ⅱ「アミロース含有率 19%以上の場合、タンパク質含有率 6.8%以下」と定められている。そのため、収穫前に当年次産のアミロース含有率の分布傾向を精度良く予測することが求められている。2006~2012 年の奨励品種決定試験の移植日ならびに出穂期のデータとメッシュ農業気象データ(農研機構)を用いて、DVR 法による出穂期の予測モデルを構築した。出穂予測モデル式は、移植日を $DVI = 0.1$ とし、移植後の平均気温に対する DVR は $1/[1+\exp\{-0.4410648(T-14.33413)\}]/54.19644$ で表され、移植日以降の DVR を累積し 1 となった日を予測出穂期とした。アミロース含有率は出穂期後 5 日~24 日の平

均気温と高い負の相関関係が認められ、平均気温が 21℃以上ではアミロース含有率 15~16%でほぼ一定であった。

アミロース含有率 $= 15.47978 + (21.09264 - 15.49936) / (1 + \exp(1.391202 \times (X - 20.36334)))$ (X は出穂期後 5 日から 24 日目までの平均気温)の予測式を作成した。

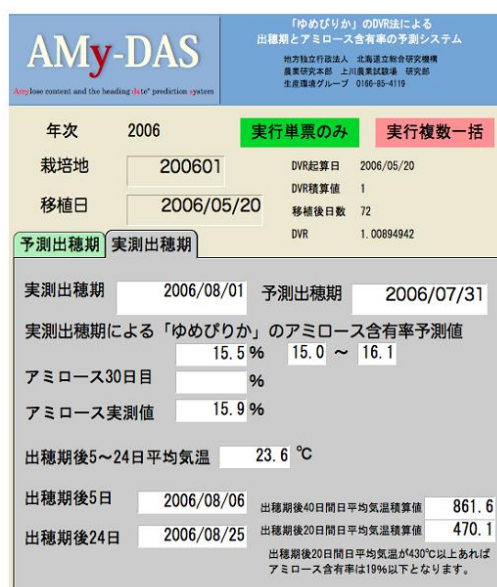


図 9 アミロース含有率予測ソフト AMY-DAS

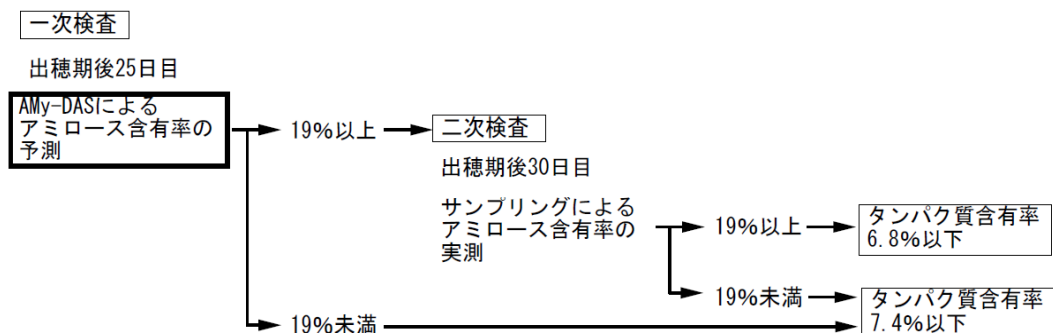


図 10 「ゆめぴりか」の出荷基準判定における AMy-DAS の活用イメージ
※当年産米のアミロース含有率の早期把握に活用する。
※実際の出荷基準については関係機関で協議され決定される。

さらに、メッシュ農業気象データまたはアメダスデータを用いて、DVR 法による出穂期の予測とアミロース含有率を予測できるソフト (AMy-DAS: アミダス) を作成した (図 9)。

これにより、現地の出穂期が把握出来ない場合でも移植日を入力することで出穂期を予測し、予測出穂期後 25 日目に「ゆめぴりか」のアミロース含有率を把握することが可能となった。活用イメージを図 10 に示す。

6) まとめ

「ゆめぴりか」は、日本穀物検定協会の食味ランキングで最高の「特A」にランクされ、北海道米の食味評価向上に大きく貢献した。「ゆめぴりか」の美味しさの秘密は、アミロース含有率が適度に低く、アミロペクチン短鎖の割合が高いことから、老化しにくいことがあげられる。また、道総研では「ゆめぴりか」の食味管理目標を定め、これに基づいた生

産・流通体制が農業団体で構築されており、ブランド米にふさわしい食味品質基準を満たした「ゆめぴりか」の安定生産に努めている。

最後に、「ゆめぴりか」は北海道が日本一美味しい米産地に生まれ変わる原動力として期待されているが、気象による玄米品質とアミロース含有率の変動が大きい問題がある。そこで、安定生産を図るためメッシュ農業気象データを活用して、全道の任意の地点で高精度にアミロース含有率を予測し、集荷・流通判断において重要な食味品質情報を、収穫前に、低コストで簡易迅速に把握することが重要である。

3.2 小麦生産は高温影響を受ける？～北海道は気象応答の最前線～

1) はじめに

北海道は、日本の中では比較的冷涼で降水が少な

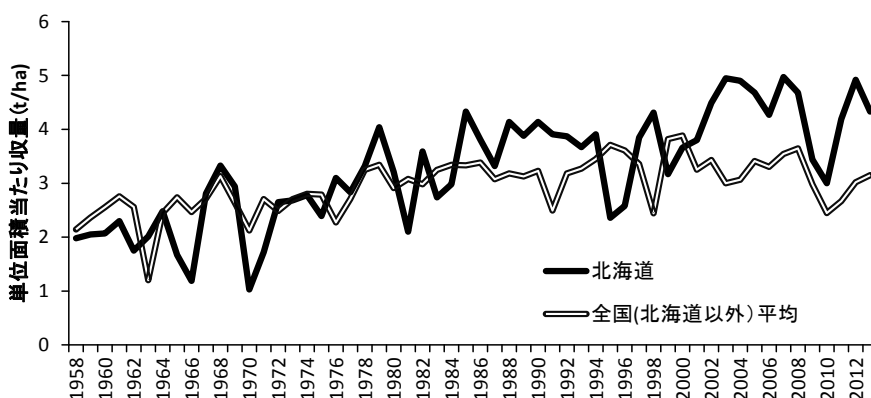


図 11 北海道と全国の単位面積当たり小麦生産量 (農林水産省作物統計より)

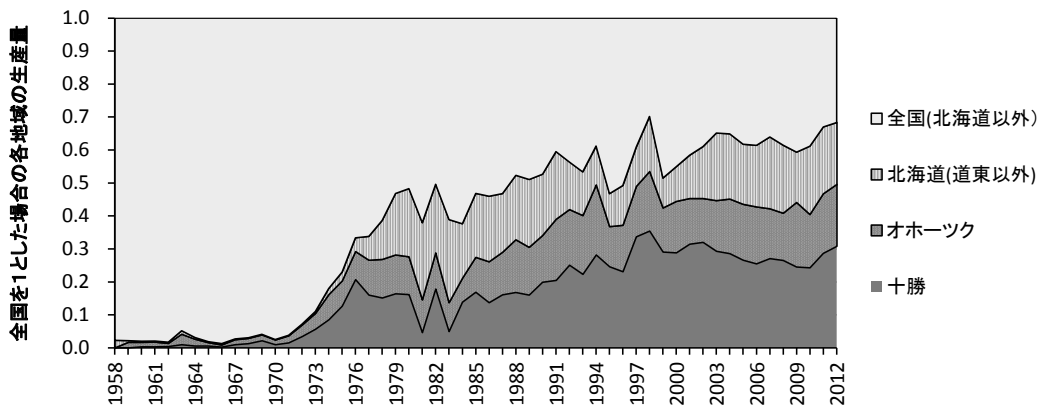


図12 全国の小麦生産量に占める北海道各地域の生産量の経年変化（農林水産省作物統計より）

く、高品質の小麦を生産しやすい気候条件とされるが、1980年代半ばまでは、雪腐病をはじめとする病害等の影響を受け、収量の変動が激しかった。単位面積当たり収量は、チホコムギの登場により全国平均を上回るようになり、1990年代後半のホクシンの登場により飛躍的に伸びた(図11)。最近10年間(2003～2012年)の北海道の小麦は全国の63.4%、北海道東部は全国の44.0%の生産量を占めるに至った(図12)。北海道の小麦栽培の歴史は浅く、低温障害が重視されており、高温側からの収量性の検討は十分ではなかった。

2) 北海道の小麦栽培の特徴

全国的には、水田の裏作として小麦を栽培することが一般的だが、北海道は気温が低く冬期積雪があり、二毛作栽培は不可能である。北海道西部では水田地帯で小麦栽培が行われ、北海道東部の十勝・オホーツク地域は、畑輪作(ばれいしょ、てん菜などの輪作)を基本とした大規模営農が行われている。北海

道の小麦栽培面積は、1970年代に減少したが、その後政策の変化により大幅に増加し、近年は輪作作物の中で比較的省力的に栽培可能な作目として注目されている。また、主要なパン用品種は春まき小麦だったため、低温の北海道東部特に十勝地域での栽培は難しかったが、近年、耐病性に優れタンパク質含量の高い新たな秋まきパン用品種「ゆめちから」(写真1左)が開発されたことで、品種選択の幅が広がり、北海道産小麦の需要が高まっている。なお、北海道の主力小麦品種は、オーストラリア産に匹敵する高品質で、1 t/10a も可能と多収なうどんなどの日本めん用小麦品種「きたほなみ」(写真1右)で、2010年以降栽培面積の8割以上を占めている。

ヨーロッパの秋まき小麦の収量の年次変化には、農家意志による温暖化適応策と思われる作付時期の変更の影響が見られ、気象条件との関係の解析が容易ではない(Licker *et al.* 2013)。日本でも、本州では前作との兼ね合いや気候との関係を考慮し、播種時



写真1 収穫を待つ北海道の小麦品種「ゆめちから」(左)と「きたほなみ」(右)2013年8月2日撮影

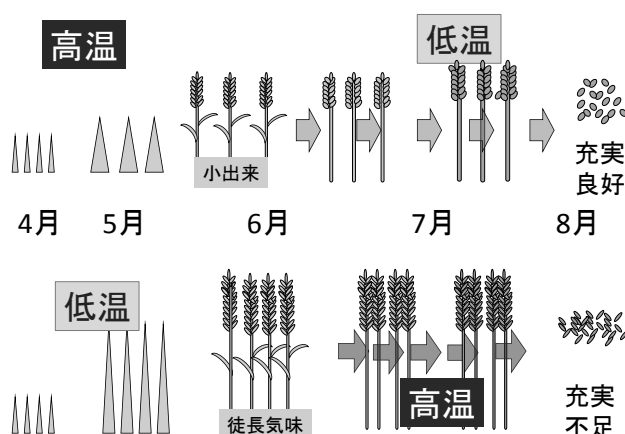


図 13 Kanno (2013)・西尾ら (2011) の北日本における春季と夏季の気温の逆相関現象から導かれる、秋まき小麦の子実充実パターン (図上の春高温→夏低温の季節変化であれば、融雪後の生育は抑えられるが、登熟期間が長くなり子実が充実する。図下は、春低温→夏高温の季節変化で、2010 年の気温変動パターンはこれに当たる。)

期が年々遅くなる傾向にあり、気象要素と小麦収量の関係を見ることが難しいが、北海道では融雪後の気温により生育速度が決まり、小麦収量は気象要素に強く依存する (Nishio *et al.* 2013)。

3) 北海道で見られた 2010 年高温による収量低下

夏季に著しい高温に見舞われた 2010 年は、世界の高緯度地域を中心に小麦生産量が減少した。日本では、本州の栽培期間に高温は見られず収量の変化は小さかったが、収穫時期が 7 月下旬から 8 月上旬と遅い北海道東部で、収量は大きく減少した。西尾ら (2011) は、比較的低温な北海道でも気温が小麦の収量に影響を与えることを示した。北海道のかつての代表的秋まき小麦品種「ホクシン」および「キタノカオリ」を対象として、1997～2010 年のまでの 14 年間の生産力検定試験を行った結果、生育温度、特に出穂から成熟までの登熟期間の高温は生育期間を短縮させ、収量の減少要因となることを明らかにした。

また、小麦栽培に着眼した気象要素の解析から、西尾ら (2011) は 4 月の気温と 8 月の気温に逆相関があることを見出した。同時期に、北日本の気候トレンドに着目した研究から Kanno (2013) が見出した知見と共通する。融雪直後の 4 月の気温は、小麦の莖数を決定する上で重要であり、夏期の高温は開花期以降、子実を充実させる登熟期間の長短を決定するために重要である。Nishio *et al.* (2013) によれば、4～5 月の低温は、穂数を増やし、稈長・穂長を長く

し、出穂を遅くする。6 月下旬以降初夏の高温は、開花から子実を充実させる期間を短くし、充実を不足させ細麦化を促進する。2010 年は春低温→夏高温の極端な例と言え、出穂が平均より 1 週間以上遅い上に登熟期間が高温に当たり、近年見られなかった大幅な収量低下の原因となった (図 13)。

4) 十勝の小麦は高温で収量が低下するが、オホーツクの小麦はどうか

平均的な登熟期間の 6 月下旬から 7 月中旬の 1 ヶ月間について 1997 年から 2011 年の平均気温を示す (図 14 上)。十勝地方とオホーツク地方とで大きな差は無かった。小麦生産量のピーク年次は、十勝地方では 2002 年で続いて 2003 年、オホーツク地域では 2005 年と 2006 年であり、両地域で異なった (図 14 下)。十勝地域では低温年に収量のピークが存在するが、オホーツク地域の多収年は比較的高温であった。オホーツク地域では、高温による明確な収量の減少傾向は見られず、収量と登熟期間の気温の関係は、地域により異なった。気温は小麦収量を決める大きな要素だが、高温だけが北海道の小麦収量を制限する要因ではない。十勝とオホーツクでは、オホーツク海高気圧が気象に与える影響が異なる点を見逃せない。

3.3 十勝川西長いもの取組みと気象的技術の側面

1) はじめに (当地域の概要)

帯広市は北海道の東部、十勝平野の中央部に位置

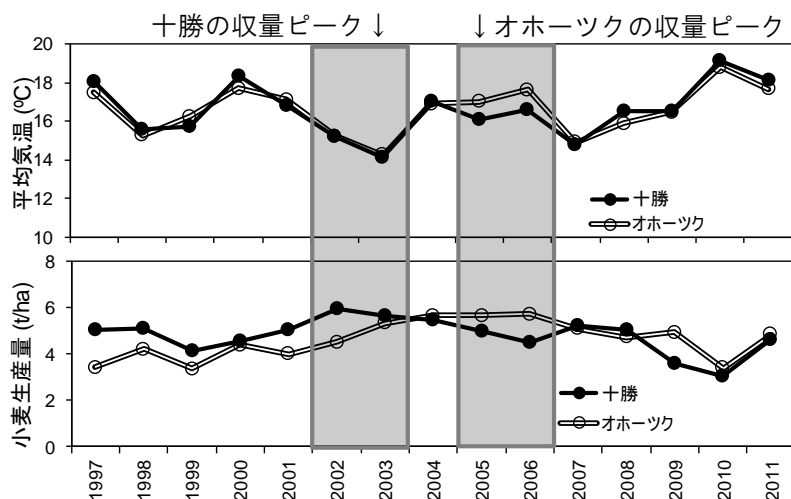


図 14 十勝地方・オホーツク地方の 6 月下旬から 7 月中旬の平均気温(上)と小麦生産量(下)

する市街地から、南西域に広がる広大な農業地帯を経て日高山脈に続き、東西 46 km 南北 43 km に及ぶ。総面積は 618 km² で人口は約 17 万人で十勝の農林業の集散流通都市として発展してきた。当川西地区の概要は農耕地 12,500 ha で 1 専業農家の平均耕作面積は 30 ha を超える規模を有し、大規模機械化農業の先進地域である。作物は小麦、てん菜、ばれいしょ、豆類を基幹作物として長いも、長ねぎ、スイートコーン、アスパラガス、牛蒡などの青果物も着実に作付を増やしている。また、酪農もさかんで乳牛の 1 戸平均飼養頭数は 100 頭、当地区全体の年間生乳生産量は 28,000 t をあげている。

2) 長いもの導入に至る経緯

昭和 30 年代後半から畑作の中心である小麦、てん菜、ばれいしょ、豆類等は輸入食料の増大により価格が低迷し、経営収支が悪化したことから離農が増加した。また、一方では規模拡大による収支改善が進められた。しかし、当地域の市街化近郊地域では地価の上昇から規模拡大が進まず、同じ目標を持つ約 30 戸の農家でグループを形成して、人参・玉葱・アスパラガス・長いも等の試作に着手した。殆どの野菜は主要な他産地の後を追うかたちとなり、適作品目とは言えなかったが、当地域に馴染みの「土物」であり貯蔵性のある長いもについては、気象、風土に良く適合し、品質についても良い物を継続して収穫することが出来た。当時の収穫は全て手作業であり 1 戸当たりの耕作可能面積も 10~15 a が限界、生産量も少なく、交通手段も不便なために出荷は地

元市場が中心で、一部を関西方面への食用ばれいしょと一緒に出荷していた。やがて、品質が認められ、関西市場から増産の声がかかり、昭和 44 年にトレンチャーを導入し、面積も徐々に拡大するようになり産地づくりが具体化していき、昭和 46 年に蔬菜生産出荷組合(現 長いも生産組合)が設立された。

労働集約的長いも栽培が圃場形成から収穫までの機械化体系の整備に伴い、他作物との労働競合が解決されたのみならず、栽培面積の増大が可能となり、畑作地帯における長いも栽培を完全に定着させていった。機械化体系の確立による生産量の拡大、種子体系の整備と栽培技術の向上による品質向上、集荷や共選体制などの統一によって量、質ともに市場の評価が高まっていった。特産地銘柄を得るようになり消費地からは周年安定供給という希望が求められ、面積の増反を推進することとなる。そこで生産地形成について、合理的、経済的な手法として、JA・市町村の枠を超えた広域体制を組み茅室町、中札内村、足寄町、浦幌町、新得町、十勝清水町、池田町高島の生産者、約 270 戸が原料生産に参画し、当 JA がその中心となって地域ブランドを形成している(図 15)。

3) 長いも生産の現況

(1) 品質向上と高位平準化への取組み

現状約 20,000 t の規模となり、産地としての重責は品質面での安定性、信頼性である。そこで粘度・澱粉質・乾物率の調査をしたり、収穫準備作業となる「つる切り」と内部品質との関係を調査し、適正

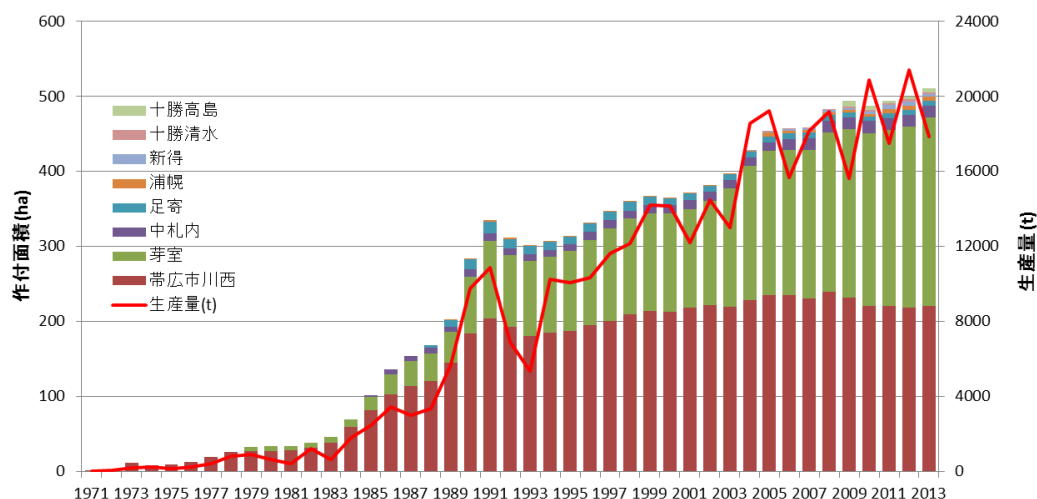


図 15 十勝川西長いも作付面積・生産量と広域参加の推移

な「つる切り」時期の設定と生産者への徹底を図り平準化された内部品質の確保に努めている。

(2) 優良種子確保への取組み

JA が保有する保存種から青果生産者へ渡す採種までの 4 年の増殖過程を JA の網室と種子専門生産者の圃場で管理し、定期的にウイルス罹病株の巡回抜き取りと独自検定を実施するなど、他組織には無い独自の活動を必要とし実施している(表 2)。また、一般青果生産者は更新用の採種を各自の切片増殖圃で 1 年間増殖の後、青果用種子として利用する。この切片増殖圃も種子としての管理を生産者で規定しており、更に青果圃場へのウイルス汚染があると近隣種子圃場への影響も大きいことから、共同巡回抜き取りや全圃場一斉の交流検定を実施している。合格基準は罹病率が種子で 0.3%以内、青果が 0.5%以内とし、不合格の場合は種子の全面更新を義務付けている。種子に関しては何れの取組みも大変厳しい内容となっているが、過去にウイルスの蔓延によって産地が崩壊状態となった事例を知っているためである。

(3) 消費者要望への対応と通年供給体制への生産移行

消費者行動の変遷に沿って、生産体制も柔軟な変化を遂げてきた。八百屋が徐々に姿を消し、量販店が販売の主流になると、店頭では一般家庭向けに販売しやすい中型サイズ 1 本売り形態が普及した。これに対して当産地では、1 本売りしやすい 2L・L サイズを生産しようと、10 a 当りの栽植密度を以前の 3,800 株程度から 4,600 株程度まで増やすことにより、中型サイズができる生産体系に変えて対応してきた。

大手量販店への供給が可能となると通年年間供給が求められた。この年間供給への対応は圃場の一部(現在約 4 割)を秋に収穫しないで越冬させ春に収穫して貯蔵することで、品質を維持しながら通年安定供給の求めに応じることを可能にした。厳寒の地での越冬は、凍結リスクを負うために生産者の理解を含めて厳しい決断であった。現在も凍結防止への工夫や管理の取組みも続いている。

(4) 環境負荷軽減への取組み

化学肥料の投入による環境負荷と長いも内部品質への影響を配慮し、窒素施肥量の上限值を設定している。更に当地域の土壌条件に対応した生産者が使いやすい肥料の実現を目指し、農協配合肥料の作成

表2 「十勝川西長いも」種子栽培体系

農協管理試験圃場		生産組合内種子生産者		青果生産者	
1 年目 基本種	2 年目 原々種	3 年目 原種	4 年目 採種	5 年目 切片増殖	6 年目 青果
増殖率	3.5 倍	4.8 倍	4.8 倍	8.6 倍	3.8 倍

も実現した。また、長いも栽培が必要となり収穫時に不要となるネットやマルチフィルム、肥料の空袋や農薬の空容器など JA と生産者で連携し適正処理している。

(5) 安全・安心への対応

長いもは個人出来高制を早くから導入しており、出荷用段ボールに製造番号を付与する(流通段階で生産者が特定できる)システムはすでに 20 年の歴史を持っている。また、ポジティブリスト制への対応として、残留農薬への意識、配慮は高く、使用量・希釈倍率・使用時期等の順守徹底・再確認を進めるとともに、収穫前の農薬残留自主検査を進めている。

4) 気候変動・農業気象技術からみた長いも栽培

(1) 気温上昇の影響

北海道の主要畑作物である小麦、てん菜、ばれいしょ、豆類等の大部分は 2010 年の極端な高温条件下における不作(北海道農政部, 2011; 広田ら, 2011; 2012)で端的に示されるように、高温よりも冷涼な気象条件を好む。一方で、長いもは図 16 で示されるように、近年の高温条件下においても増収している作物である。このことは、長いもは北海道の既存の農作物の中では、当面、気温上昇のプラスの効果を見込める数少ない作物の一つと言える。また、長いもを栽培体系に取り入れていることは、自ずと大規模畑作土地利用型農業における高温に対するリスク分散が図られている側面がある。

(2) 土壌凍結の影響と自然冷熱エネルギーの活用

現在、長いも収穫における春掘りの割合が平成 5 年には 2 割であったのが前述のように近年の平成 24

年には 4 割と高まっている。十勝地方は土壌凍結地帯であり、厳寒の地での越冬は、凍結リスクを伴う。長いもに対する土壌凍結による凍害リスクがない深さは土壌凍結深 30 cm 以下とみなせる(十勝農試ら, 2009)。ところで、川西の隣の地区にある芽室にある北海道農業研究センターの土壌凍結深の長期観測値を調べてみると平成 5 年(1993 年)の前後 10 年(1988-1997 年)では土壌凍結深が 30 cm 以上であったのが 10 年のうち 6 回あったのが、近年の平成 24 年(2012 年)より以前の 10 年では(2003-2012 年)では、土壌凍結深 30 cm 以上は一度も記録されていなかった。すなわち、春掘りの割合を高めた時期は、土壌凍結による凍害のリスクが大きく減っていた時期でもあった。これは、冬の気候温暖化(土壌凍結深の減少)に対応して春掘り比率を高め、結果的に冬季に土中に貯蔵する割合を高めることで倉庫による貯蔵経費が削減されていたことになる。また、春掘りは畑の土中を倉庫として活用し、冬季の自然の冷熱エネルギーを巧みに活かす技術への転換を実現していたことになる。

それでも気象の年々の変動は大きく凍結のリスクは常に伴う。このリスク対策として、長いもの茎葉、ネット、マルチ被覆によって保温の効果を高めることで土壌凍結の進行を防ぐ工夫や管理に取り組んでいる。

(3) マルチ栽培の効果

前述のように長いもは北海道の作物の中では、比較的、高温環境を好む。一方、近年、北海道の春は安定せず低温環境であることも多い。このような低

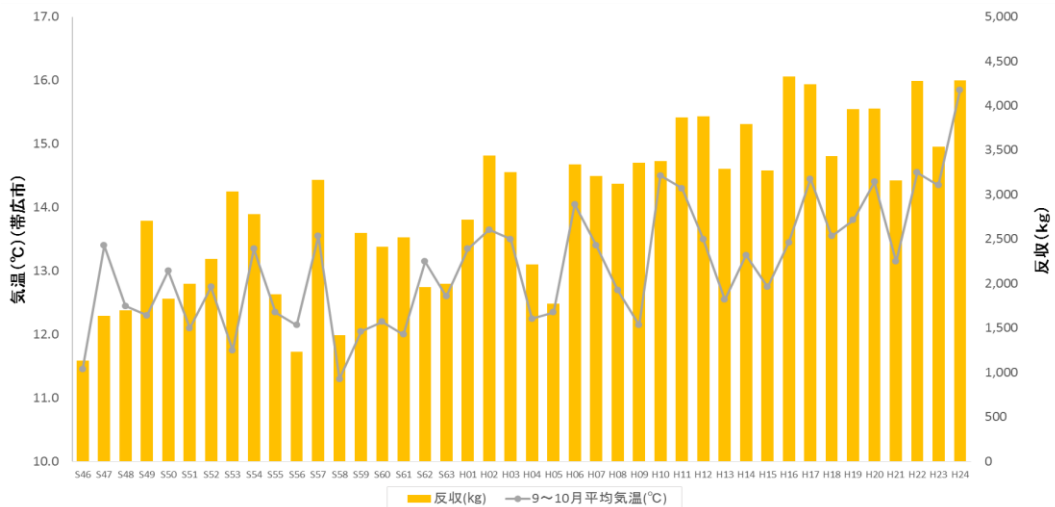


図 16 気温(帯広市)と反収(川西グループ)の推移

温環境下では、マルチ栽培による増収効果が認められ、特にマルチの色がブラウンホットとライトグリーンは無マルチに対して増収効果が高い(十勝農試, 2003)。したがって、マルチ資材を利用することの意義は、初期生育時の地温の確保にあるといえる。

5) 今後の方向、課題

(1) 海外輸出の拡大と信頼される産地づくり

平成 11 年は豊作となったことから国内相場が下落した。そこで、健康ブームの高まりと薬膳としての需要の高まりが見られた台湾への輸出をスタートした。現在は台湾のみならず、アメリカ、シンガポール、タイなどにも輸出を開始し、市場隔離のアイテムが広がったと思われる。今後も流通事情、着荷後の品質状態、消費の実態、嗜好など消費地の状況を知り、産地の役割を果たし続けることが重要となる。また、当 JA 選果場は平成 20 年に青果物の選果場では例のない HACCP を認証し、生産者には独自 GAP の取組みを徹底している。生産から出荷まで万全体制をとることを継続していく必要がある。

(2) 地域への貢献

地域、町内との関わりでは、近年学校教育への一環として学校内に体験農園が作られ、子供たちが長いも作りにチャレンジしている。当地域は農業を基幹産業とする地域のために家庭以外の場所で農業に理解を深めてもらう役割が必要である。また長いも生産は他作物と比較しても収益性が非常に高いため、面積も順調に伸びており、手間のかかる農作業や選果場での雇用、機械類の開発・販売、国内や海外への輸送、食品加工事業等々、多大な貢献をしており、地域の期待を背負っているのである。

(3) 今後の課題

現在、当ブランドの長いもは約 15% のシェアを占めるようになったが、競合産地の台頭により現状に甘んずることなく、更に品質の向上に努め、銘柄維持及び発展に向け研究と開発に取り組みながらこれまで以上の努力が必要な時期を迎えている。数年前より研究機関や JA で新品種育成の研究を進めている。食味や内部品質に目を向けた品質基準の検討や、形状収量性の優れた品種の開発育成も今後の重要な課題である。また、生産性を大きく左右するウイルス対策は病害虫防除と罹病株抜取で対応してきたが、今後の環境保全型農業への方向性の中で、現在のブランド品質を維持したウイルス抵抗性品種の導入が可能か等、多くの検討が必要となっている。また、種芋管理・芽出し作業も気温により管理が年によって異なり、安定した技術が確立されていないことも注視すべき課題である。

4. 質疑応答

・北海道から日本の米を

問(東京大学 小林)：今後気候が変わってくるが、気候が変わったときの育種と、いままでの気候に合わせた育種との関係はどのように考えているか？

答(道総研上川農業試験場 五十嵐)：米の育種は、10 年かかる。したがって育種者は、10 年先、20 年先を見据えながら、常に将来を展望して品種改良をしている。今日話したような基礎的な知見に基づいて、どういう組み合わせの交配材料をつくったら将来役に立つのか、材料を養成しているので、その点はぬかりなく計画的にやっていると考えている。今回農業気象学会の場で、気象に関する将来予測が示されており、これらは北海道の育種に対して役に立つ成果だと思っているので、活用したい。

問(東京大学 小林)：30 年後に農業気象学会があるかどうかかわからないが、2010 年代にこのような企画がありそれにより、よりおいしいお米を食べることができるようになった、という話を聞く人がこの中にいればいいなと思っているが、米を食べる量も変わってくるかもしれないし、マーケットも広がってくるか、と思っている。気候以外の要因についてはどのように考えているか？

答(道総研上川農業試験場 五十嵐)：今は米の消費量も減っている。高齢化もしている。高齢者がどういう食味を求めるのか、という研究も必要になってくる。硬いのが噛みにくくなるので、流動食、おかゆに向いた品種だとか、そのような育種も必要になるかもしれない。そういうお米がどのようなところで消費されるのか、最近では、老人ホームも増えているが、そこでどのような品質が求められるのか、という考え方も育種には必要になってくる。

コメント(農研機構東北農研 川方)：出穂後 20 日間の日平均気温の積算値が 430℃を基準にしていると判断された。気象条件が基準となるので、私たち農業気象学者が使いやすい指標になるので、今後研究が進めやすく、参考になった。

答(道総研上川農業試験場 五十嵐)：産地でいかに安定してお米をつくるかということになる。産地によって気象条件が変わる。北海道は作付地域が広いので、どの地域で安定して作ることができるのか、気象データからある程度縛りをかけて安定生産を目指している。

司会コメント(北海道大学 鮫島)：おそらく、農研機構の方はそういった観点で情報をつくっていく研究をすすめていると考えている。

・小麦生産は高温影響を受ける？

問(東京大学 小林)：たぶん大切なのは、気温と

日照時間の相関関係で、十勝は日照時間が変わらないのに気温が上がったり下がったりする。そうするとフェノロジーだけが早まったり遅くなったりするから直接影響がでる。オホーツクはどうか？

答え(農研機構北農研 下田)：オホーツクも似たような傾向で、気温と日照時間の相関は小さい。

コメント(東京大学 小林)：解析のときに考慮しないといけないのは、フェノロジーと成長が違う要素で影響を受ける点。成長は日照時間や日射量に影響を受けるが、フェノロジーは気温の影響が大きいのでその辺を整理したうえで解析したほうがいいと思う。

コメント(岩手大学 岡田)：十勝とオホーツク、隣どうしの地域で収量の変動が連動しないのは興味深い。これから温暖化で年々変動が大きくなるといわれている。北はもともと変動が大きいのがもっと大きくなる。産地形成のことを考えると、産地の信頼性にも影響を及ぼす。ところが、収量が変動しない地域があったとしたら、産地を拡大して変動のないところと連携して産地形成のプランニングをして対応していく、というように、気候変動や年々変動にどうやって対応していくかが、これから大きな問題になっていくのではないかとそれを考えるうえで興味深い事例である。こういうことが野菜とかお米とかでも起こるのではないかと？お米で、東北の岩手と秋田では起っている。

コメント(筑波大学名誉教授 及川)：十勝は日本の中で小麦生産地ということはわかった。しかし、日本の小麦の自給率十数パーセント、残りは外国から輸入していて、外国の作況に影響を受ける。日本だけのことでなくて、世界の小麦生産地の中での位置づけを検討する必要があるのではないかと、というのが私の意見。

・十勝川西長いもの取組みと気象技術の側面

問い(明治大学 小沢)：畜産から野菜に入れ替わるというのは、工業でいうと自動車産業から繊維産業に移るような、そんな大きな違いだと思う。労力の調整に一番苦労されているような気がする。長いもやっている方は、春先の植え付けにすごく労力がかかる。いままで冬に働く場所がなくて困っていたのが働く場所ができてよかった。しかし、植えつけてネットを張った後、夏から収穫まで暇になるのではないかと？この時期に農家はどんなことをやっているのか？どのような組み合わせで労働の均平化を図ろうとしているのか？というのがまず一点目の質問。次に、養液土耕栽培など積極的にイモの肥大の安定化をはかる技術を取り入れないと、高温対策、低温対策としては不十分ではないかと思ったが、どのよう

に考えているか？

答え(JA 帯広かわにし 藤岡)：長いもの産地はもともと鳥取、長野、岩手、青森などだったのだが、寒い北海道十勝では最初は本当に取れなかった。最近やっと栽培技術の向上もあって取れるようになった。養液栽培となると、長いも栽培だけで1戸あたり2.5haもやっているの、難しい。野菜栽培というより土地利用型農業になる。いまやろうとしていることは、肥料より品種の方でいろいろな試験機関の方と安定して取れる品種の開発に力を入れている。

コメント(明治大学 小沢)：感心したのは、6〜7年かけて種芋をつくっているところ。デマンドが変わったときの対応策になる。普通の作物だったら廃棄がでるところ廃棄を少なくしたり、逆にイモを次の年に回したりすることができる。そういう工夫ができる。それと輸出作物になったことについてだが、ヤムというのは諸外国にたくさんあるが、生食するところはない。欧米の人々は知らない、せいぜい台湾人が存在を知っている程度。これは物を輸出するときにいいポイント。私は生卵という食べ方もぜひやる(輸出)すべきと思っている。

答え(JA 帯広かわにし 藤岡)：種については、私も生産者に「6年後どれだけ蒔きますか？」と毎年やっている状態。その逆算で種をつくっていく。常に6年後の計画を考えている。この辺がぶれてくると種が余ったり足りなくなったりしていく。種余りは青果として販売できるので、需給バランスが崩れることによる不利益は圧縮できる。

4. パネルディスカッション

司会(農研機構北農研 広田)：これまでの話から論点を絞るが、より理解を深めていただくために、コメンテータの東山さん、大塚さんに、自己紹介と今日の講演に対するコメントや、最近の気象についてなど、この場で議論してほしいことなど、将来像、社会変化も含めて、農業気象の研究者にどんなことをやってほしいか、といったことを思っているままお話いただきたい。

コメンテータ(長沼町東山農場 東山)：私が広田さんと知り合ったきっかけのことだが、こせがれネットワークといって、町で働いている農家のせがれを農家に返そうとか、農業の3K(カッコわるい、くさい、きたない)を新3K(かっこよくて、感動があって、稼げる)にしよう、農業を魅力のある産業にしたいというネットワーク・リファーム北海道が作られた。そこには様々な背景の方が集まり、農に通じるネットワークとなっている。主な活動内容はこせがれを農家に戻す、こせがれの交流の場をつ

くる、ということ。生産者が北農研に行って、質問をぶつけてきたのだが、今日は逆に、この場に呼ばれたという経緯。

自分自身、31 ha、米、小麦、大豆、ニンニクなどやっていて、道内では中規模で、土地利用型農業といえる。もともと機械屋の営業で、十勝に8年間いましたが、5年前十勝の儲かっている農家を見て、いいなあ自分も儲かりたいと思い、長沼町に帰ってきた。

気象については、1 mm 以上の降水確率で示されているが、何 mm という情報がほしい。今は機械化しているので、先の降水量がわかれば前々の対応が可能。たとえば、1 mm なら畑作業できるが、5 mm だと一日おかないといけない。また、水田で水を切るタイミングを考えるにあたって、先の降水量が予想できれば助かる。したがって、1 mm 以上の降水確率より、10 mm の降水の確率が何%とか、そうしたものができないかと思っている。それと、春から秋にかけての風の予報を精度よくできないものだろうか？防除のとき風を気にする。薬剤が隣の畑にかかったら大変なことになるので、ぜひほしいところ。あと、日射量の予報も必要。かんかん照りか曇天かで生育が変わるので、そうした情報が欲しい。

コメンテータ(当別町大塚農場 大塚)：こせがれネットワーク「リファーム北海道」に参加し、世話人として代表の東山さんの補佐をしている。農業者以外も関心のある方も参加し、農について語り合おうという活動をしている。東山さんより紹介されて今日この場にいる。農業気象学会でたになる話を聞かせていただいたと思っている。以前、幌加内のそばの試験場において、土壌のことは少し勉強したが気象についてはあまり勉強してこなかった。しかし、気候変動が大きい中で、農家が気象を知るのは非常に重要だと思う。

最近では5年周期の冷害という話をきくが、私がいる石狩地方は最近雪が多すぎる。昨年度は2 m50 cmで、消雪が4月20日過ぎ。小麦も品種改良で作りやすくなったとは聞くが、積雪期間160日あるといくら対策しても作れない。作物を作るうえで気象条件を見て選ばないといけない状態なので、ずっと雪が多いのなら小麦をやめたい。その代り、米と大豆はよく取れている。長沼の中央農業試験場の方に聞くと、大豆は暖かければいい、とのことだが、たしかに24年産は6~7俵(360~420 kg/10 a)で気温と連動している。ただ、最近では4月が寒い。そうになると育苗に苦労する。高温に強い品種も必要かもしれないが、低温でも発芽する品種がほしい。また、米余りの為飼料米が奨められているが、収入とコストの

バランスを考えると直播で栽培しないと難しいので、低温発芽タイプのものも欲しい。

小麦に対して、十勝やオホーツクの話がされていたが、我々の石狩はまた別の気候。昨年度は、6月~7月は全く雨が降らなかった。こうした状況なら、逆に水分条件が効くのではないかとと思っている。最近カボチャもしおれる位暑いので、灌漑施設が必要なのではないかと真剣に思っている。長いもについてはコメントできないが、ばれいしょは暑くて小玉になる。暑さへの対策がほしいところ。また、長期予報がもっと精度よくなればと思っている。

司会(農研機構北農研 広田)：両者役割分担されたコメントと感じた。会場から東山さん、大塚さんへ質問のある方、お願いしたい。そのうち、東山さん、大塚さんから講演者への質問、ということで進めさせていきたい。

問(東京大学 小林)：雪が2 mもあるところで小麦を作っておられる大塚さん、小麦は春まきか？秋まきか？また雪が多いようだったらやめたいとのことでしたが、秋まきだったら春まきにすれば対応できると思いますか？

答(当別町大塚農場 大塚)：両方やっているが、今年から春まきを増やした。秋まきでも「ゆめちから」を始めた。秋まきは成績悪いが、春まきは成績良い。このことから、品種を変えていく工夫も必要だと感じた。ただ、春まき小麦の播種のタイミングが難しく、昨年は(初冬まきで)雪が早過ぎた為播種出来なかった。小麦をどうとらえていくかということだが、今後の天気の流れが早くわかれば見極めをつけやすいな、と思っている。

問(農研機構東北農研 熊谷)：大豆の生育と気象の関係を研究している。大塚さんの話の中で、高温年は大豆がたくさんとれる、昨年小麦が干ばつにやられたとのことだが、大豆は干ばつで被害はあったか？それと、大豆は畑作か？転換畑か？

答(当別町大塚農場 大塚)：大豆について、干ばつが問題になるのは発芽だけだった。芽がでてしまえば大丈夫。むしろ開花期以降は暑ければ暑いほど良い。それと、当農場では転換畑で栽培している。暗渠はしっかり入っているので水はけは良い。

答(長沼町東山農場 東山)：大塚さんに同感である。昨年は5月31日を最後に雨が降らなかった。それより早く播種した畑は発芽が揃い生育が良かったが、遅く播種した畑はなかなか発芽せず生育が遅れた。したがって、地域全体としては収量が伸びなかった。また、自身は除草剤のタイミングに失敗した。低温だとおもって除草剤を散布したら急に暑くなり、葉が焼けてしまい、その結果低収であった。天気が

わかればもっとよかったと思っている。

司会(農研機構北農研 広田)：気象予測については東山さんからリクエストがありました。それについて、研究者側からコメントはあるか？

コメント(農研機構東北農研 大久保)：気象の解析の研究をしている。気象庁の2週間先の予想の情報を、メッシュに落としている。気温は良好に推定できるが、雨が一番難しい、場所をはずすし量はずす。予測自体が技術的に難しい。しかし降水量の予測をしてほしいという要望もわかった。日照時間と風速については評価していないが、空間的な精度と量的な精度の両方の問題があり、今後の課題と思った。今すぐ対応は難しいとは思いますが、なんとかしていきたい。

コメント(農業環境技術研究所 石郷岡)：降水の予測は難しいが、1 mm以上の降水確率は当たるようになってきている。10 mmの確率ということだが、具体的にどういった情報が必要か、ということを出していただくことによって、今後提供できるようになるのではないかと考えている。ただ、根本的には、予報技術の向上が必要と考えている、そちらについては気象学の発展を見守りたいと思う。

コメント+問い(農研機構中央農研 大野)：気象データで雨の予測、風の予測があるといいという話だが、気象庁の方でも具体的に使ってもらえるデータと提供するために、ユーザーがどのような情報をほしがっているかというのを知りたい。我々のような農業研究者経由でもいいので、積極的に意見を出していただきたい。気象庁も民間気象会社も農業向け情報を出せるようがんばっている。東山さんと大塚さんは具体的にどのような気象情報を入手して、もう少しよければいいなと思っているか？

答え(長沼町東山農場 東山)：携帯で気象会社1社の有料サイト「長沼町」で検索して確認している。あと、デジタルテレビでも確認している。長沼町は札幌と千歳と岩見沢の間なので、どこの天気予報をみるのか迷うが、なんとなくこっちな、とか、足して3で割ったりして考えている。

問い(農研機構中央農研 大野)：先ほどの話だと、気象会社の風速の予報が合わないということか？

答え(長沼町東山農場 東山)：はい、合わない。

答え(当別町大塚農場 大塚)：私も東山さんと同じで有料サイトと気象庁webページ、テレビなどで、見ている。家は新篠津アメダスから20 kmくらい離れている。アメダスがあっても近隣の気象予測が札幌・江別・岩見沢でその中間的な位置なので、私も足して3で割ったりしている。道路地図と雨雲予想をあわせたものが、自分の畑に雨雲かかるのかどう

か見えるので、見やすいと思っている。予測がどのくらい正確かはわからないが、見やすさの改良がほしい。

司会(農研機構北農研 広田)：大塚さんがそれぞれの作物に関してコメントされたのだが、講演者からコメントをお願いしたい。

コメント(道総研上川農業試験場 五十嵐)：大塚さんから稲の育苗に苦労しているという話があった。発芽についてだが、米が高温発芽で休眠が深くなる問題は最近北海道でも出てくるようになった。それに加えて春低温というのは、いっそう発芽がそろいにくくなる。さらに最近では、クリーン農業ということで、農協では温湯消毒を行っている。そのとき最初に水につけるその水の温度で発芽のしやすさが変わる。水温が低い場合、北海道では4℃とかそれ以下ということもあると思う。そのような水に種もみをつけると発芽しにくくなる。11～12℃にしないといけないということが最近わかってきた。そのあと積算温度110℃で発芽がよくなる。それ以上漬けると芽が腐る。水温11℃なら10日間、そうすると発芽がよくなるので、ぜひ試してほしい。

コメント(当別町大塚農場 大塚)：その話は聞いたことがある。そうやると安定することはわかっていた。発芽がそろわないというのは、周りの農家を見ていて感じたこと。品種によって発芽しにくい品種があるのではないかとたとえば、酒米など発芽が難しいのがある。高温年に休眠が深くなるという話が当たり前になったら、品種からのアプローチも必要になると思ったので、そうした質問をした。直播など低コスト栽培に適した芽の出やすい品種が欲しいとおもったので、今後の育種の方向性として向かってもらえるのかなと思って質問した。

司会(農研機構北農研 広田)：大塚さんはかなり勉強されているので、我々もそれを踏まえた答えとなれば面白いのかなと思っている。小麦の方は？

コメント(農研機構北農研 下田)：2013年は6月の干ばつが小麦に悪い影響を及ぼした。北海道の6月から7月の降雨量は増加傾向にあるが、たまには乾燥する年もある。

司会(農研機構北農研 広田)：藤岡さん、これまでのやりとりを聞いて意見はあるか？

コメント(JA 帯広かわにし 藤岡)：農家さんから詳細な気象予測が求められていたが、実際はなかなか難しい。私を感じたことは、ばれいしょの疫病という例年6月20日ごろから発生する恐ろしい病気があるが、その予察システムというのがある。近年のクリーン農業との関連で、適期防除、無駄な農薬を散布しないというのが重要になっている。詳細な気象

の予測はなかなか難しいが、病気の予察システムが研究機関からできてくれば、それでも生産者サイドは十分に助かるのではないかと考えている。

司会(農研機構北農研 広田)：これまでの話から将来作りやすい作物という観点で議論してみても？作りやすい作物というのが将来を考えるキーワードと見えてきたので、その観点からのコメントはないか。

コメント(長沼町東山農場 東山)：今年は天気が悪かったからと言い訳にできないご時世。生産者の技術によって、ある程度のところは下らないようにしないとイケない。天気が良くて上積み、よくなくてもこれだけは、という経営をしていく生産者がこれからどんどん増えていかなければ、一戸あたりの生産量が増えていくということにならない。他の情報、例えば水はけのよさ、などを考えていかなければならない。

コメント(当別町大塚農場 大塚)：天気によって作りやすい、作りにくいというのは変わってくる。研究者ではないので、はっきり言うのは難しいのだが、ただ、直感としてここ 3 年で失敗が減ったのは米と大豆、あとハウストマト。逆に難しくなったのは、キュウリと小豆。今後高温多湿に耐性がないものが北海道では作りにくくなっていくと思う。

コメント(道総研上川農業試験場 五十嵐)：生産者にとって作りやすいというのは、手間がかからない、ということだと思う。ただ、品種の特性を理解すれば、問題を回避できる部分も十分あると思う。試験場では品種を育成したとき、同時に品種の特性も公開して提供している。そして、品種の特性を記載した栽培マニュアルや栽培技術を作って指導しているつもりなのだが、メジャーな米とか大豆は情報が充実しているが、小豆などは情報不足で苦労させてしまっているかもしれない。品種によって特性が大きく変わる。また、気象にどのように反応するかは、試験年数が限られる中で品種を出していくので、情報として十分伝え切れていない部分がある。気象に対する品種の特性については、情報を流して、生産者が作りやすいようなマニュアルをつくっていききたい。

コメント(農研機構北農研 下田)：小麦について、主力品種は 9 割が秋まき小麦、そのうち 9 割が「きたほなみ」、8%が「ゆめちから」、その他パン用の小麦となっている。「きたほなみ」は施肥を工夫すれば収量が上がるといわれているが、地域によって多収が難しいところもある。ゆめちからはどこでもそれなりと聞いている。現場の努力を反映した、先を読んだ品種や栽培方法の提案が必要だと思っている。

コメント(JA 帯広かわにし 藤岡)：北海道農業については、大規模化ということがある。米のないオホーツク・十勝では輪作体系というものがある。小麦、てん菜、豆、ばれいしょの 4 年輪作だが、それを崩していくのは、今のところ長いも以外には出ていない。温暖化への適応ということでは、てん菜の例がある。てん菜は苗をつくって連休ごろ移植しており、これが農家の大きな負担となっているが、温暖化・省力化ということではてん菜の直播が今後広がっていくだろう。

コメント(九州大学名誉教授 鈴木)：質問ではないが、農家さんの話をありがたく聞かせていただいた。雨のことが心配という話がありました。この 3 月に打ち上げられた衛星、GPM というが、これが面的にかなりの精度で降雨を観測できる予定となっている。9 月から本格的な運用に入るが、その前に試験運用が始まる予定。そのなりゆきを見て、気になったら使ってみてはいかが？注目する価値はあると思う。

4. おわりに

以上のように、講演者およびコメンテータにはシンポジウムの趣旨を良くご理解した上で、非常に有意義な講演と議論をして頂いた。また、ここで招いた若手生産者のご発言からも優秀であることをご理解頂けたと思う。一方、企画者として当初意図したにもかかわらず出来なかった議論がいくつかある。五十嵐氏らによって開発されたアミロース含量の推定では、実際水稻生育ステージの推定・予測では農業気象学の成果が活用されている(たとえば、川方, 2006)。五十嵐氏からは他分野の立場として、活用しやすいモデルについてのコメントを求められれば良かったと考えている。一方で、五十嵐氏らはさらに気象データからアミロース含量の推定手法まで進み、モデルが現場でも実際に利用される段階に至った。この点においては逆に農業気象の研究者が先を越されたのではと考えている。個人的(広田)には農業気象の水稻研究関係者にこのような問いかけができなかったのは若干心残りである。下田氏の発表は気象学的な解析では示唆に富む新知見を含んでおり、今後小麦栽培の関係者には注目されるであろう。実際、講演後、北海道の著名な農業関係機関から講演内容についての生産者向けの解説記事の執筆依頼が早速あったと聞いている。五十嵐氏と下田氏の発表はお互いに共通する点もあったと思われ、相互にコメントして頂く時間があれば議論もより深まったのではと思った。藤岡氏の長いもについて、農業気象に関わることにについて知っているようで実は知らない話

が多く、こちらが勉強させて頂く機会を頂いた。特に春堀りについては、冬の自然エネルギーを活かした希有な大成功例と考えられるが、これまで農業気象分野の研究側からも報告例がなかったのではないと思われる事例でもある。実は十勝地方で長いものの春堀りの割合が高まった時期は野良イモの問題(収穫後のばれいしょが越冬して翌年雑草化する問題)が顕在化して、対策技術が開発された時期でもあった(Hirota *et al.* 2011; Yazaki *et al.* 2013)。十勝地方では気候変動(土壌凍結深の減少)に伴い正負の両者の影響が顕在化して、さらに両者ともに適応対策をした事例が同時期に起きていたのである。現在の十勝で起きたこのような変化は、少なくとも1990年頃までは誰も想像できなかったであろう。また、北海道の米と小麦での現在の変化や躍進を1990年代にはどれほどの方が見通していたであろうか?しかも、いずれも気候変動も変化や躍進に少なからず関わっている。このような近年、起きた事例を踏まえながら、当初試みようとしていた農業の変化を想定した温暖化(気候変動)研究について、将来のある若手生産者を交えていたのだから、この絶好の機会を活かして、もう少し議論を深めることができさらに良かったとも感じた。しかし、シンポジウムでは限られた時間であったが、その直後の懇親会では講演者の研究成果や、若手生産者でもあるコメンテータの生産物が食材として提供されて、舌鼓をうちながら個別に議論が深まったことを最後に記すことにする。

引用文献

- Hirota, T., Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hamasaki, T., Sameshima, R., and Takayabu, I., 2006: Decreasing soil-frost depth and its relation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* **84**, 821-833.
- Hirota, T., Usuki, K., Hayashi, M., Nemoto, M., Iwata, Y., Yanai, Y., Yazaki, T., and Inoue, S., 2011: Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, **16**, 791-802.
- 広田知良, 2008: 北海道・道東地方の土壌凍結深の減少と農業への影響. 天気, **55**, 548-551.
- 広田知良・古賀伸久・岩田幸良・井上聡・根本学・濱寄孝弘, 2011: 2010年の気象の特徴と農作物への影響要因: 「北海道における2010年猛暑による農作物の被害解析報告書」北海道農業研究センター研究資料 **69**, 1-13.
- http://cryo.naro.affrc.go.jp/kankobutu/kenkyusiryoy/69/01_kisyou2010.pdf (アクセス日: 2014年4月2日)
- 広田知良・中辻敏朗・濱寄孝弘・小沢聖・永田修・古賀伸久・井上聡・志賀弘行・岡田益己・大政謙次, 2012: 温暖化フォーラム(北海道)報告. 生物と気象, **12**, B1-11.
- <http://www.agrmet.jp/sk/2012/B-1.pdf>
- Hizukuri, S., 1986: Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydr. Res.*, **147**, 342-347.
- 北海道農政部, 2011: 平成22年異常高温・多雨等が農畜産物に与えた影響と今後の対策. 平成23年2月.
- <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gif/H22IJYOUKOUON.htm>. (アクセス日: 2014年4月2日)
- 五十嵐俊成, 2004: 業務用米の実需者ニーズと産地対応-北海道産米を中心に-. フードシステム研究, **11**, 16-27.
- 五十嵐俊成・上野真吾, 2004: ヨウ素吸収マルチスペクトル測定による澱粉の物理的特性及び食味の推定方法. 特願 2004-168795.
- 五十嵐俊成・柳原哲司・神田英毅・川本和信・政木一央, 2009: 米の食味評価のためのケモメトリックス手法による澱粉のヨウ素吸収曲線の解析. 日作紀, **78**, 66-73.
- 五十嵐俊成, 2011: 米の外観品質・食味研究の最前線 (14) 北海道米の澱粉の分子構造と新食味評価法. 農業および園芸, **86**, 1184-1195.
- 稲津脩, 1982: 北海道における水稻, 小麦の良質品種早期開発-プロジェクト研究合同セミナー集録-. 北海道立農業試験場資料, **15**, 49-64.
- 稲津脩, 1988: 北海道米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農業試験場報告, **66**, 1-89.
- Kanno H., 2013: Strongly Negative Correlation between Monthly Mean Temperatures in April and August since 1998 in Northern Japan. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **91**, 355-373.
- 川方俊和, 2006: 発育ステージ予測のための多項式・関数式 DVR の計算表示プログラム, 農研機構研究成果情報.
- <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2005/tohoku05-03.html> (アクセス日: 2014年5月22日)
- Licker, R., Kucharik, C. J., Doré, T., Lindeman, M. J., and Makowski, D., 2013: Climatic impacts on winter wheat yields in Picardy, France and Rostov, Russia: 1973-2010. *Agr. Forest Meteorol.*, **176**, 25-37.
- 農林水産省, 2014: 都道府県別食料自給率の推移 (<http://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/anpo/pdf/calory.pdf>) (アクセス日: 2014年4月2日)
- 日本農業気象学会北海道支部, 2012: 北海道の気象と

- 農業. 北海道新聞社 pp384.
- 長田亨・五十嵐俊成・吉田慎一, 2013: ブランド米生産に向けた「ゆめぴりか」の栽培指針. 北農, **80**, 241-248.
- 西尾善太・伊藤美環子・田引正・中司啓二・長澤幸一・山内宏昭・広田知良, 2011: 高温による小麦の減収要因, 「北海道における 2010 年猛暑による農作物の被害解析」報告書. 北海道農業研究センター研究資料, **69**, 15-21.
- Nishio, Z, Ito, M., Tabiki, T., Nagasawa, K., Yamauchi, H., and Hirota, T., 2013: Influence of higher growing-season temperatures on the yield components on winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, **53**, 621-628.
- 瀬戸良一・岡部勇, 1963: 北海道産米の品質に関する研究, 第 1 報 北海道産米の理化学的性状について. 北海道立農試集報, **11**, 59-67.
- Swanson, M.A., 1948: Studies on the structure of polysaccharides IV. Relation of the iodine color to the structure. *J. Biol. Chem.*, **172**, 825-837.
- Takeda, Y., Hizukuri, S., and Juliano, B. O., 1987: Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.*, **168**, 79-89.
- 田中博春・小林和彦・馬場健司・増富祐司・広田知良, 2013: 温暖化フォーラム(石川)報告 「温暖化適応策と農業現場での適応行動」, 生物と気象, **13**, B1-14.
- <http://www.agrmet.jp/sk/2013/B-1.pdf>
- 十勝農試, 2003: ながいもの高収益安定生産に向けた栽培技術指針 (寒地畑作地帯における省力低コスト・安定生産のための土壌管理技術改善と野菜導入畑輪作体系の確立. 北海道農政部, 北海道立総合研究機構農業研究本部.
- <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/h15gaiyo/2003115.htm> (アクセス日: 2014 年 4 月 14 日)
- 十勝農試, 帯広畜産大学, 北海道立十勝圏地域食品加工技術センター, 2009: 十勝産ながいもの早期つる切りによる品質低下と春掘凍害軽減対策 (長いものを利用した機能性食品の開発 (十勝産長いもの高品質特性の評価)). 北海道農政部, 北海道立総合研究機構農業研究本部.
- <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/25f1/09.pdf> (アクセス日: 2014 年 4 月 14 日)
- Yazaki, T., Hirota, T., Iwata, Y., Inoue, S., Usuki, K., Suzuki, T., Shirahata, M., Iwasaki, A., Kajiyama, T., Araki, K. Takamiya, Y., Maezuka, K. 2013: Effective killing of volunteer potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers with soil frost control using agrometeorological information—an adaptive countermeasure to the climate change utilizing climate resources in a cold region. *Agr. Forest Meteorol.*, **182-183**, 91-100.