

I 気象の経過と特徴

濱寄孝弘・井上 聡・根本 学・廣田知良
北海道農業研究センター 寒地温暖化研究チーム

1. 2009年の気象概況 — 6月中旬と7月中旬に低温・寡照・多雨

図1に、2009年5月から10月までの気象概況として、北海道農業研究センター（札幌市羊ヶ丘）内気象観測露場における気温・日照・降水量の半月別値を示す。5月は好天が続き、気温も平年より高めに推移した。6月中旬にはいったん低温となり、16日には気象庁より「日照不足に関する北海道地方気象情報第1号」が出されたものの、下旬には一転して高温となり、6月全体ではほぼ平年並みとなった。

しかし、7月に入ると多雨・日照不足となり、気温も中旬以降は平年を下回り、特に第4半月（16～20日）平均気温は平年より4.2℃も低く、雨量は平年比432%に達するなど極端な低温・多雨となった。8月に入ると一転して雨量は平年よりも少なく、日射は平年並みに回復したものの、低温傾向は8月第2～3半月の小休止を挟んで9月上旬まで続いた。北海道の夏期の低温には、オホーツク海高気圧の張り出しによる、低温の割に日射がある「晴冷型」と呼ばれるパターンがあるが、本年は8月～9月はそ

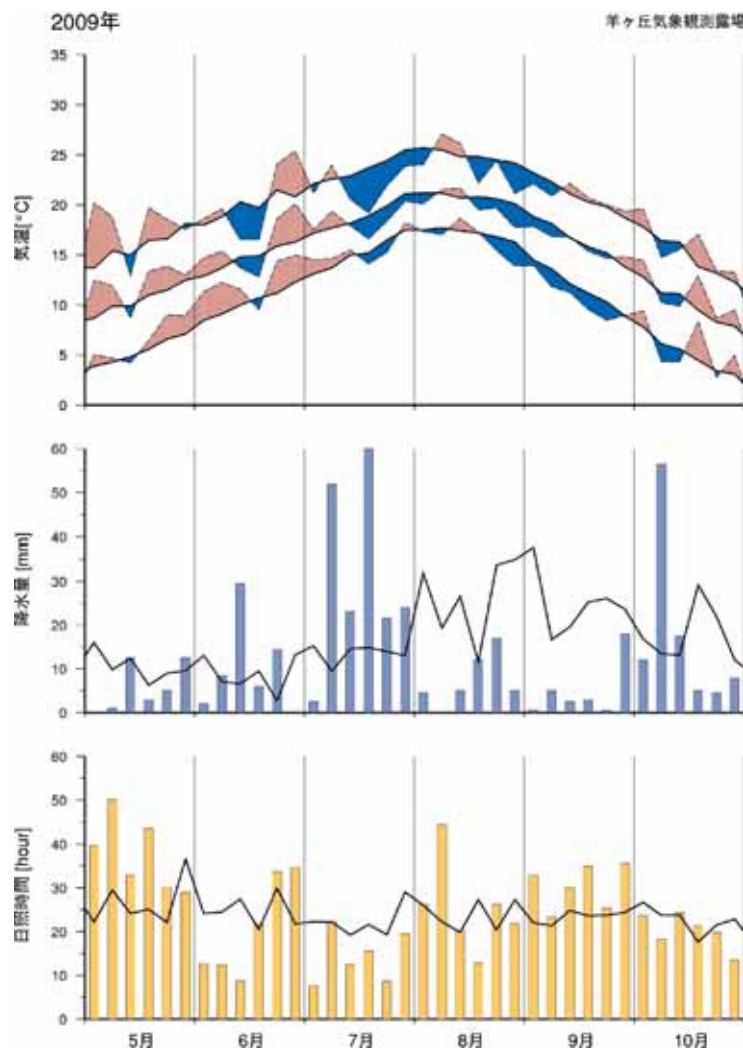


図1. 2009年暖候時期の札幌市羊ヶ丘の気象概況

半月別の値と平年値を示す。降水量と日射量は実線が平年値で、棒グラフが2009年の値を示す。

の傾向も見られるものの、7月は逆に低温で、かつ非常に雨量が多かった（7月の積算値は平年比230%）ことが特徴である。

北海道全体の気象概況を、気温の半月平均値の推移として図2に、6・7・8月の気温・日照・降水量の平年偏差比の道内分布として図3に示す。全体的には、上記とほぼ同じ傾向ではあるが、6月の月平均気温はオホーツク海側と日本海側で高く、降水量は道東でかなり多かった。7月の気温は全道的に低く、特に道北～オホーツク海側でかなり低く、降水量は全道的に多く、平年の300%に達する地点も

あった。8月は降水量は平年よりも少なかったものの、全道的に低温であった。

2. 本年の特徴と過去の冷害年との比較

1) 多雨（湿害）について

2009年の暖候期の天候不順は、水稻の冷害だけではなく、麦類の倒伏や穂発芽、イモ類・根菜類の病害など、畑作物に大きな被害をもたらした。特に病害発生については、土壌の湿度の高さによる直接的な感染だけではなく、地耐力の低下により圃場に作業機械が入れず、適期防除ができなかったことが大

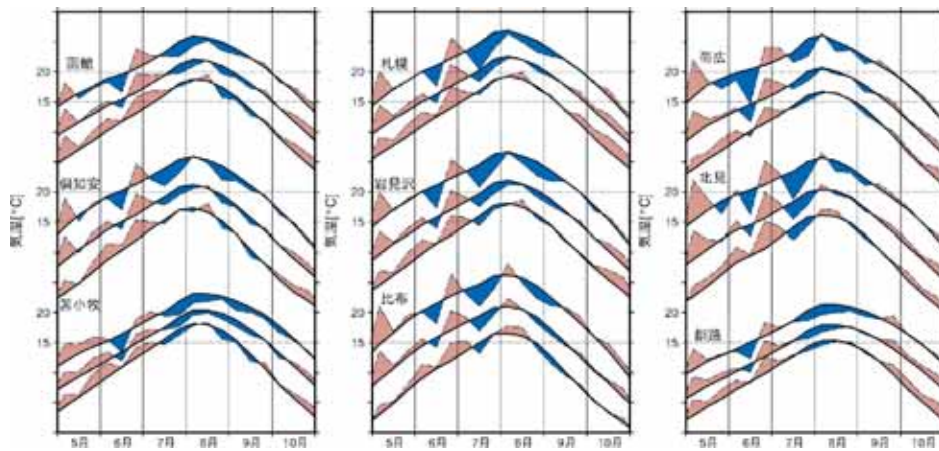


図2. 道内各地の2009年暖候時期の気温の経過
日平均・日最高・日最低気温の半月平均値を平年値との比較で示す。

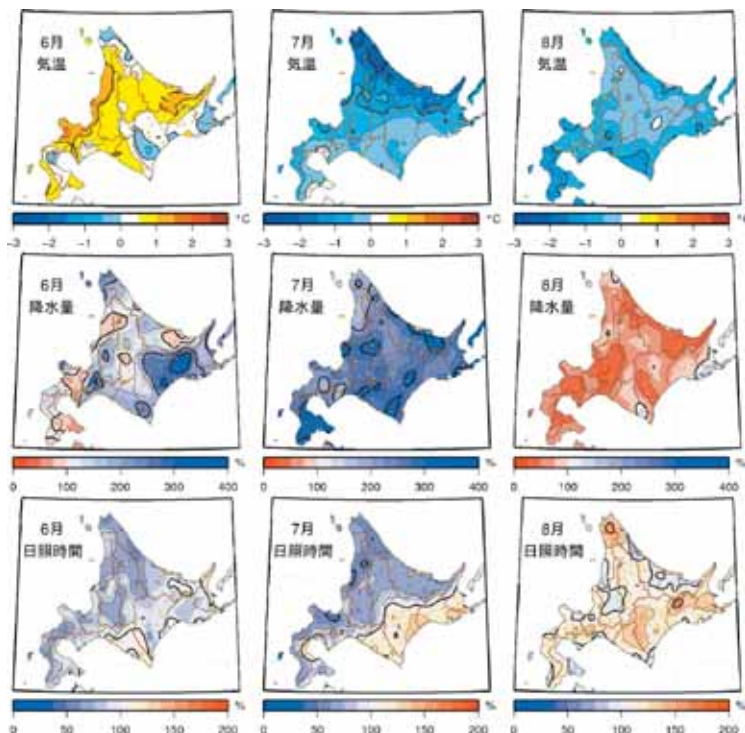


図3. 2009年6・7・8月の道内の気温・降水量・日照時間の平年差比の分布

きな原因の一つと指摘されている。しかし、気象庁の観測項目に土壌水分はなく、限られた観測地点の情報しかない。そこで、以下の方法で土壌水分過多を評価する有効な指標を新たに作成し、2009年の道内の土壌水分過多の地域分布の推定を行った。

気候的に土壌水分過多を推定する手法として、先行降雨指数 (Antecedent Precipitation Index : API) を用いた。APIの計算は、次式を用いた (Choudhury and Blanchard, 1983, Hirota and Fukumoto, 2009)。

$$API_j = K_j (API_{j-1} + Pr_j)$$

$$K_j = \exp (-Ep_j / Wm)$$

ただし、 API_j はj日のAPI、 Pr_j はj日の日降水量 (mm)。 K_j はj日の減少係数 (recession coefficient) であり、 Ep_j : j日の可能蒸発散量 (mm) と Wm : 蒸発土壌深 (本研究では10mm) から求めた。可能蒸発散量はペンマン法とし、三浦・奥野(1993)の計算式を用いた。

土壌水分過多となる条件をHirota and Fukumoto (2009)にならい、 $API \geq 20$ とした。なお、API正答率を北海道農業研究センター (札幌市羊ヶ丘) ・同芽室研究拠点 (芽室町新生) ・同紋別試験地で実測している土壌水分に基づき評価したところ、正答率は85%であった (井上ら, 2010)。

また、畑作物の湿害を考える上で重要なのは土壌水分が連続して過多となる期間である。過多が同じ日数であったとしても、離散した場合と連続した場合では連続した場合のほうが、農作物へのダメージが大きい。そこで、連続性を評価した湿害指標 (Wet Injury Index : WII) を新たに考案した。

$$\begin{cases} WII_j = 0 & (API_j < 20) \\ WII_j = -1 & (API_j \geq 20) \end{cases}$$

$$\begin{cases} WII_j = -1 & (j = 1) \\ WII_j = (WII_{j-1} + WII_j)^{WII_j} \end{cases}$$

$$WII = \frac{\sum_{j=1}^n WII_j}{n}$$

羊ヶ丘での両者の年々変動を調べると、2009年は土壌水分が過多であり、しかも連続していたことが分かった (図4)。道内の気象庁気象官署22か所について、2009年と2008年の5月1日から8月31日までのAPI \geq 20日数とWIIを図5に示す。2009年は、全122日のうちAPI \geq 20日数は最大で根室の52日であり、最小は倶知安の8日であった。地域別にみると太平洋側が多く、次いでオホーツク側であった。WIIについても同様の傾向がみられた。2008年と比較すると、道東太平洋側、オホーツク側、道央で、API \geq 20日数が多かった。一方、胆振地方から道南

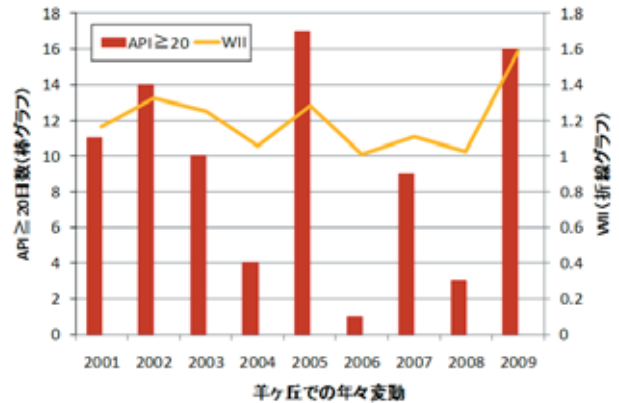


図4. 羊ヶ丘における土壌水分過多日数と湿害指標の年々変動

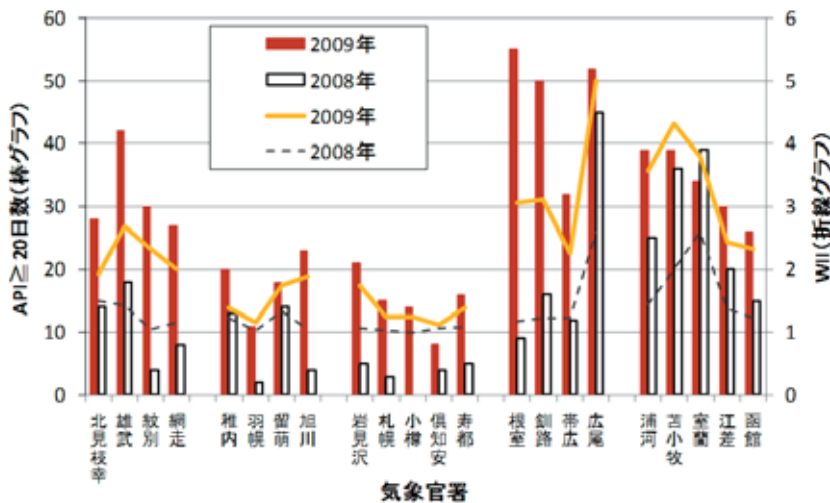


図5. 2009年道内各地の土壌水分過多日数と湿害指標の分布 (5~8月)

にかけてはAPI \geq 20日数の差はそれほど大きくなかったが、WIIの差が大きかった。したがって、同地方では土壌水分過多が連続して生じたのが、今年の特徴であった。

2) 低温発生地域差

北海道と隣接する東北地域を含めた北日本全体の暖候期の気温変化と地域性を見るために、北日本の気象庁観測地点(官署, アメダス)の中で平年値が利用できる298地点の気温データを用いてクラスター分析を行った。日気温データを半旬平均値に整理をした上で、半旬の平年偏差データを作成してからクラスター分析を行い、7つのグループに分類した(図6)。各グループは(A)オホーツク海側と上川北部、(B)日本海側と中央部、(C)北海道南西部、(D)道東、(E)青森県から三陸海岸、(F)東北地方太平洋側、(G)東北地方日本海側をそれぞれ中心として地理的なまとまりを持つ。

各グループ間の気温偏差のばらつきが、最も顕著に見られたのは7月中下旬であった(図7)。この時期は水稻の幼穂形成後の冷害危険期に相当する。7月第4半旬(7月16-20日)においては、グループAにおいて気温の平年偏差が-4.0℃に達し、ついでグループB(-3.4℃)、グループD(-1.4℃)、グル

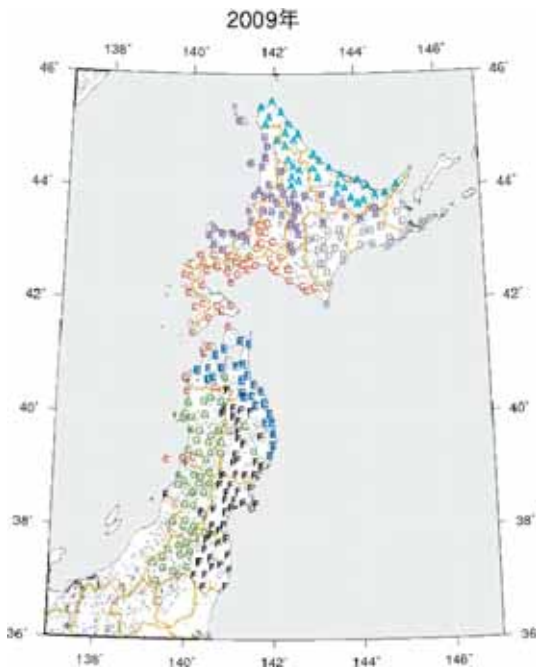


図6. 2009年暖候期の北日本気温変化のクラスター解析結果。

同じ英字(A-G)で分類される地点は、気温変動に類似の特徴を持つ。

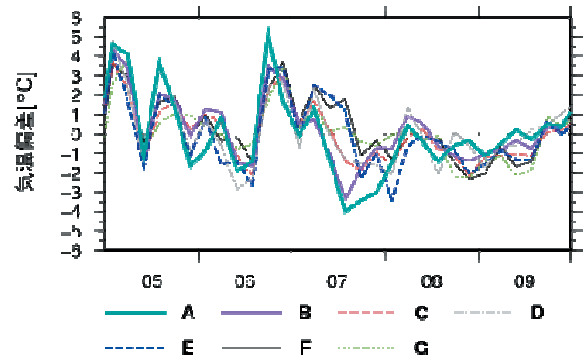


図7. クラスター解析で分類した各グループの気温変化の比較

ープC(-1.3℃)の順に負偏差がみられた。この北海道のほぼ全域における負偏差傾向は7月第4半旬をピークとして8月第1半旬(8月1-6日)まで続いた。一方で東北地方(グループE, F, G)の7月の気温偏差は、第5・6半旬(7月21-31日)に最大-2.3℃の負偏差が見られるものの、第4半旬までは正偏差となっており、月平均では平年より暖かであった。

一方で、2009年の作柄表示地帯別(およそ北海道各支庁、各県3-4の細分地域別)作況指数と、各地域を代表する気象庁観測地点の気温平年偏差との関係を調べたところ、7月後半(15日~31日)の平年偏差気温との間に最も良い相関関係が見られた(図8)。以上より、2009年の北日本において北海道でのみ水稻作況指数が低下した主な原因は、7月後半における低温が主な原因と考えられる。この時期は水稻の冷害危険期に相当するため、1993年や2003年に比べると短期間かつ低温の程度は弱かったものの、北海道の水稻収量に大きな影響を及ぼした

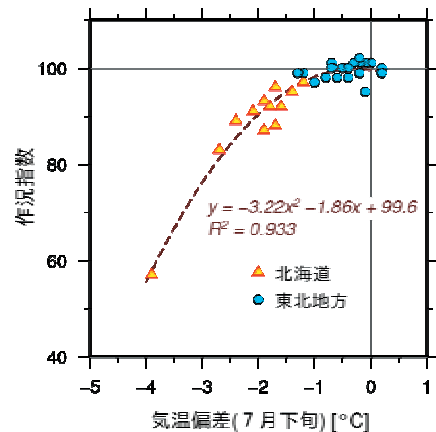


図8. 東北と北海道の7月の気温平年偏差と作況指数との関係

と考えられる。

3) 過去の冷害年との比較

過去2回の全国的な冷害年となったのは1993年と2003年だが、それぞれ前年の1992年と2002年においては北海道のみ作況指数90前後の不作で東北地方では平年並という対応が見られ、これは2009年の作況指数の最終値（北海道89、東北地方100）と酷似している（表1）。この「北海道のみ不作の翌年に全国的な冷害が発生する」という関係が偶然なのか、気候変動のなんらかのシグナルなのか、については現在解析を進めているところである。

表1. 過去の冷害年の作況と、その東北との比較

北海道の冷害年	作況指数 北海道(東北)
1992	89(100)
1993	40(56)
2002	91(101)
2003	73(80)
2009	89(100)

図9に北海道の水稲冷害年（1992年、1993年、2002年、2003年、2009年）の岩見沢の気温経過を示す。また近隣の北海道立中央農業試験試験場における試験水田の生育データより、幼穂形成後10日間をおよその冷害危険期として重ねて示してある。これによると、まず全国的な冷害年であった1993年と2003年では7月の低温が著しく、冷害危険期とも重なっていた。2009年は1993年や2003年と比べて、7月の低温は弱いが、冷害危険期と重なってしまったことが、不作の大きな要因（障害型）になったと考えられる。2002年については、低温が顕著となったのは7月下旬からであったが、7月を通して低気圧が北海道付近を多く通過して寡照・多雨であり、この点において2009年とよく似た天候であるものの低温は冷害危険期と重なっておらず、不作の要因は8月9月の低温が中心の遅延型であったと言える。1992年の7月は弱い低温であったが、2002年や2009年とはことなり寡照・多雨の傾向は顕著でなかった。9月に低温に加え寡照と著しい多雨となり、やはり遅延型の不作であったと考えられる。

以上のように、2009年は冷害危険期が低温に重なった障害型の不作であったと考えられるが、過去の

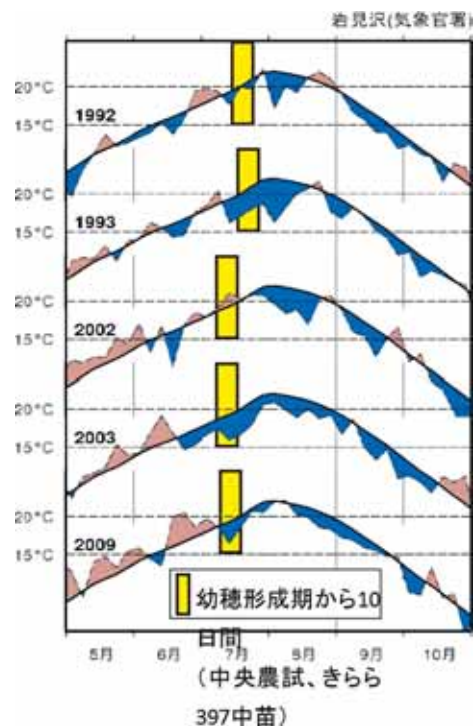


図9. 過去の冷害年との気温経過の比較

北海道だけ不作の年は、冷害危険期には限らず、8月9月の低温による遅延型の場合も見られた。このような北海道特有の水稲冷害になり得る気象の季節変化のパターンについて明らかにし、その変動要因を調べるのが北海道の水稲冷害への早期対策において重要になると考えられる。

3. 冷湿害への対策について

湿害対策について、広大なほ場において降雨を遮断するのは不可能なので、圃場の排水性を良くする、畝を高くするなど第一の対策となる。加えて、APIやWIIを気象情報と組み合わせることで、病害等の発生予察や、防除作業で圃場に入るタイミング（作業可能日の見込み）の判断支援が期待できるだろう。

水稲の冷害については、深水灌漑が現在もっとも有効な手だてである。2009年の危険期の低温は多雨・寡照を伴っていたため、水温は上昇しにくかったと考えられるが、北農研内圃場の水温を気温と比較すると、低日照にも関わらず水温は気温よりも高く（図10）、7月20日頃の低温時にも水温は平年気温程度を確保できたことから、深水灌漑は有効だったと考えられる。

表2に、2009年の気象・営農関係の各種情報の経

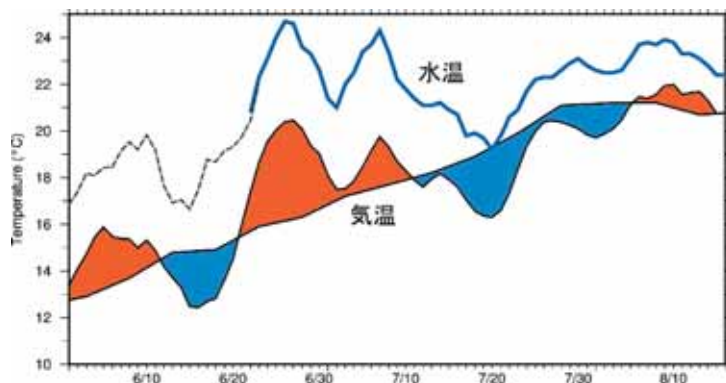


図10. 羊ヶ丘の2009年水温と気温の推移（5日間移動平均）

表2. 2009年の気象・営農関係情報の経過

5月25日	気象庁：3ヶ予報（6～8月）は、低：並：高=30：40：30で平年並みの予想
6月16日	気象庁：日照不足に関する北海道地方気象情報第1号
6月25日	気象庁：3ヶ予報（7～9月）は、低：並：高=30：40：30で平年並みの予想。しかし、7月については40：30：30で寒気の影響を受ける時期もあると予想。
6月27日	北海道農政部：大雨・降雹に対する営農技術対策
7月19日	気象庁：低温に関する北海道地方気象情報第1号
7月21日	北海道農政部：天候不順に伴う営農技術対策
7月23日	農林水産省：平成21年度病害虫発生予報第5号（水稲特集号）の発表
7月24日	気象庁：低温と日照不足に関する北海道地方気象情報第2号
7月27日	北海道農政部：平成21年天候不順に伴う営農技術特別指針 技術普及課に営農技術特別指導チーム設置
7月27日	北海道農政部：技術普及課内に「平成21年天候不順に伴う営農技術特別指導チーム」を設置するとともに「平成21年天候不順に伴う営農技術特別指導指針」を策定し、各支庁に通知。
7月28日	農林水産省：日照不足、低温及び大雨に対する農作物の技術指導について
8月5日	農林水産省：平成21年7月以降の全国的な日照不足及び低温等への対応について
8月11日	農林水産省：全国的な日照不足・長雨及び台風第9号による農作物等の被害防止に向けた技術指導の徹底について
8月28日	農林水産省：8月15日現在における作柄概況（北海道やや不良）
9月15日	北海道農政部：「水稲・小豆の生育遅延に応じた適期収穫について」の発出
9月29日	北海道農政部：今後の営農技術対策を発出
10月2日	農林水産省：9月15日現在における作柄概況（北海道91）
10月30日	農林水産省：10月15日現在における予想収穫量（北海道89）

過を記した。2009年は、特に低温に関しては、直前まで比較的高温だったためか警戒を促す情報が出されたのは低温に遭遇してからで、現場の対応も後手に回ったのではないだろうか。そのため、今後は冷害・湿害などの気象災害に関し、気象情報・予報に基づいた被害回避策を講じるための支援システム（早期警戒システム）の構築が早急に必要であろう。

4. 摘要

2009年の暖候期の気象の特徴は、特に7月に低温と多雨が重なった点にあった。先行降雨指数（API）と今回考案した湿害指標（WII）の解析から、土壌が過湿になった日数が2008年に比べて多かった地域と、過湿になった日数はそれほどでもないが長期間連続していた点に特徴がある地域があることが明ら

かとなった。気温については、7月中下旬の経過に地域間差が見られ、また、東北地方と北海道とでも大きく異なっていた。7月中下旬は水稻の冷害危険期にあたり、水稻の作柄はこの期間の低温に対応し、北海道で作況指数89の不作に対し東北は100の平年作であった。この北海道と東北とで作柄に落差が見られる点で2009年は1992年、2002年と類似している。7月中下旬の低温期間でも水温は平年気温よりも高く、深水灌漑によって水稻の冷害を軽減できたと考えられた。

5. 引用文献

- 1) Choudhury, B.J. and Blanchard, B.J. (1983) : Simulating soil water recession coefficients for agricultural watersheds. *Water Res. Bull.*, 19, 241-247.
- 2) 北海道立中央農業試験場 (1994) : 平成5年度北海道立中央農業試験場年報.
- 同上, 2004: 平成15年度分まで.
平成16年度～平成20年度分は,
<http://www.agri.hro.or.jp/chuo/nenpou/index.html>
より
- 3) 井上聡, 根本学, 濱寄孝弘, 廣田知良 (2010) : 気候的に評価した2009年の北海道の土壤水分の特徴. 日本農業気象学会2010年全国大会講演要旨. 45.
- 4) HIROTA, T. and FUKUMOTO, M. (2009) : Estimating surface moisture availability for evaporation on bare soil from routine meteorological data and its parameterization without soil moisture. *Journal of Agricultural Meteorology*, 65, 375-386.
- 5) 三浦健志, 奥野林太郎 (1993) : ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細. 農業土木学会論文集, 164, 157-163.

I Climatic features of the summer in 2009.

Takahiro HAMASAKI, Satoshi INOUE, Manabu NEMOTO and Tomoyoshi HIROTA
Climate and Land-Use Change Research Team

Summary

In the summer of 2009, weather conditions included not only unusually low temperature but also heavy rain, especially in July. Analysis of the antecedent precipitation index (API) and the newly developed wet injury index (WII) showed that in some regions in Hokkaido, the total number of days of over-wet soil was larger than that in 2008, while in other regions, the total number of days of over-wet soil was similar to that in 2008, but the continuity of days of over-wet soil was remarkable. The air temperature in mid- to late-July was different between regions in Hokkaido and greatly different between Hokkaido and Tohoku districts. Most of the paddy rice was at the low temperature-sensitive stage in mid- to late-July, so that the crop situation index (CSI) of paddy rice in 2009 depended on the temperature in this period and CSI was 89 in Hokkaido and 100 in Tohoku. This difference in CSI between Hokkaido and Tohoku in 2009 was similar to the differences in 1992 and 2002. The water temperature of paddy fields was higher than the normal air temperature in the cool period. This relatively high water temperature suggests that deep water irrigation could reduce cool damage of rice.

Ⅱ 水 稲 (経 営)

若林勝史・仁平恒夫・島 義史

北海道農業研究センター 北海道農業経営研究チーム

1. はじめに

北海道の水田地帯では、平成21年産水稻の作況指数が89と、平成15年以来6年ぶりの不作に見舞われた。なかでも、上川地域の被害は大きく、作況指数83と石狩・空知の作況指数90前後に比べて低い水準にある(表1)。

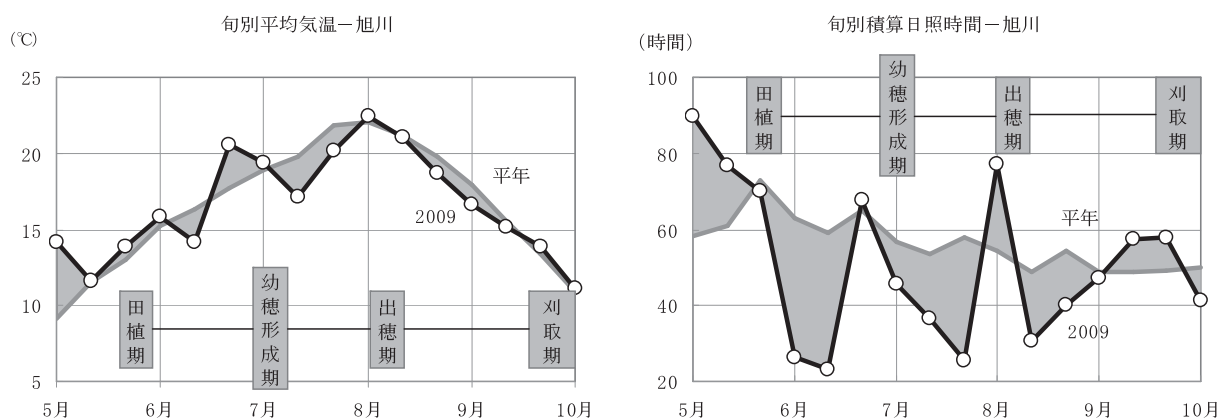
今回の冷害は、日照不足と低温による障害型の冷害被害が大きく影響したとされる。図1は、平成21年度の上川地域(旭川)における平均気温および日照時間の推移である。5月は概ね平年並み、または

平年を超える水準で推移したことから、田植最盛期は平年より2日早かったが、6月上・中旬、また7月中・下旬は、平均気温および日照時間が平年を著しく下回り、出穂最盛期は平年よりも6日遅となった。しかし、収量に甚大な被害を与えたのは、こうした生育遅れよりも、低温と日照不足による登熟の「不良」であった。7月中・下旬の低温・日照不足は稔実歩合を低下させ、さらに8月後半の低温・日照不足が登熟歩合を低下させたことが、今回の冷害被害の特徴である。

表1 北海道水田地帯における過去10年間の水稻作況指数

	H12年	H13年	H14年	H15年	H16年	H17年	H18年	H19年	H20年	H21年
北海道平均	103 (540)	100 (526)	91 (482)	73 (385)	98 (518)	109 (573)	105 (558)	98 (520)	106 (565)	89 (475)
石狩	103 (527)	101 (516)	97 (495)	75 (385)	100 (510)	107 (550)	105 (543)	98 (509)	105 (545)	93 (484)
南空知								94 (494)	105 (552)	89 (469)
北空知	102 (546)	101 (543)	98 (524)	79 (425)	97 (520)	109 (586)	104 (544)	104 (576)	107 (598)	91 (510)
上川	103 (564)	103 (563)	82 (456)	77 (424)	94 (520)	107 (587)	108 (596)	103 (571)	107 (595)	83 (461)

資料) 農林水産省北海道農政事務所「水稻の収穫量(北海道)」各年度版
注) 括弧内の数値は単収(kg/10a)。



資料) 気象庁「アメダスデータ」

図1 平成21年度上川地域(旭川)の旬別平均気温と旬別積算日照時間

こうした水稻の障害型冷害を回避するためには、幼穂形成期以降の深水灌漑が有効であるといわれている。生産者においても、農協や普及機関等からの情報に基づいて、深水灌漑等の対応が実施されてきたと推察されるが、その実施状況についての調査はほとんど行われていない。

本研究では、冷害に強い水田作経営の育成に資するため、農家アンケート調査の実施により、農家・生産者レベルでの栽培管理の実態（深水灌漑等の栽培方法や品種選択等）と、それらが冷害被害の発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。さらに、農家・生産者レベルでの冷害リスクに対する意識を把握し、それによる栽培管理の実施状況や冷害情報の入手経路に関する相違を明らかにする。

2. データ

1) 対象地域の概要

アンケート調査は、冷害被害の大きかった上川地域当麻町の農家を対象に行った。

当麻町は、道内有数の良質米地域であり、北海道米ガイドラインランキング（米需要量情報算定にかかる市町村別のランク）の総合評価では、11年連続最高位の評価を得ている。

当麻町の水稲作付品種は、ほしのゆめを中心に（6割程度）、きらら397やななつぼし等が占めている。平均単収（平成14～20年の7中5平均）は563.4kg/10aで、上川平均の545.8kg/10aよりやや高い。また、平成21年産の単収は485kg/10aで、平均単収をベースとした作況指数は86（上川地域平均は84）であった。

2) アンケートデータの概要

アンケートは、平成22年2月18日に、水稻を生産する町内認定農業者60名に対して実施した。回答農家の平均水稲作付面積は15.8haである。また、直播を実施している農家は10戸であった。

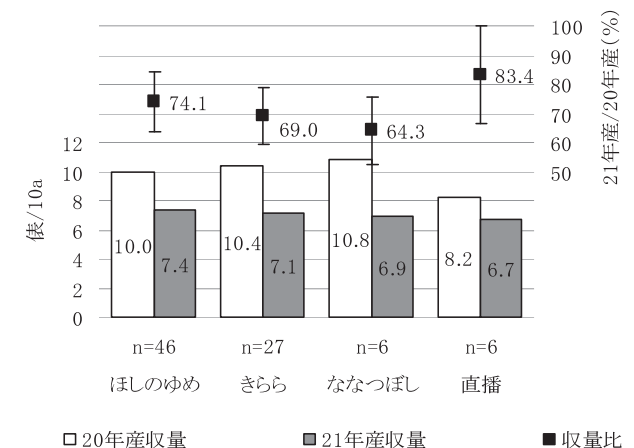
アンケートの質問内容は、主に、①収量や栽培管理の実施状況、②冷害リスクに対する考慮状況についてである。①に関しては、品種や栽培方法の違いによって異なることが想定されるため、品種ごと（1農家につき、「作付面積1位品種」、「2位品種」、「直播品種」の3品種以内）に質問し、②については、生産者ごとに質問した。

3. 分析結果および考察

1) 21年産収量

ここでは、冷害の被害程度を表す指標として、20年産を基準とする21年産の減収割合を用いる。ただし、表1にあるとおり、20年産が北海道全体で作況指数106という豊作年であったことから、ここでの数値は、公表されている作況指数よりも過小な値であることに留意する必要がある。

図2は、21年産と20年産の水稲品種別単収を示したものである。



資料) 冷害アンケート調査

注1) 収量は網上収量。

注2) 不明回答は除く。

図2 21年産および20年産の水稲品種別単収

まず、移植品種についてみると、21年産は20年産と比べて7割前後の収量であった。品種別では、耐冷性が強く、当麻町の主力品種であるほしのゆめが前年比74.1%であり、きららは69.0%、ななつぼしは64.3%であった。ただし、同じ品種でも幅があり（標準偏差は9.8～11.7）、品種間の冷害被害に統計的に有意な差は確認されなかった。直播栽培については、生育ステージのずれから、移植よりも冷害被害が小さく、83.4%に留まった。

2) 冷害被害の要因解析

冷害被害には品種や栽培方法のみならず、土壌条件や栽培管理のあり方など複数の要因が影響していると考えられる。そこで、関係機関等からのヒアリングにより、冷害被害に影響を及ぼすと考えられる要因を選定し（表2）、それらを説明変数（ダミー変数）、冷害被害（平成21年産単収/平成20年産単収）を従属変数として回帰分析を行った。

なお、表3は説明変数 $D_3 \sim D_8$ に関する回答分布である。

深水管理（前歴深水，危険期深水）について注目すると、同じ地域においてもばらつきがあることが確認される。農協の指導では、危険期の深水灌漑について水深18~20cmを推奨しているが、15cmに満たないケースが全体の約1/3を占めている。また、前歴深水に関しても、危険期5~10日前から開始することとしているが、危険期直前に実施するケースが（1~4日前）34%，また実施しないケースも15%程度ある。

表4は回帰分析の結果である。まず、ダミー変数による回帰分析のため、調整済み決定係数は低い値となっているが、F値は有意な値となり、モデルに

組み込んだ説明変数が冷害の被害程度を説明していることが確認できる。

回帰係数の推計値をみると、栽培方法 (D_1) が最も大きく、直播栽培ほど被害が小さかったことが確認できる。これは、移植栽培との生育期のズレにより、直播栽培では障害型冷害の被害を回避できたためと考えられる。

次いで大きな影響を与えているのは、穂いもちの発生 (D_5) や品種 (D_2) である。穂いもちの発生は、冷害とともに水稻の大きな減収要因である。係数の符号が負であることから、経験的に妥当な結果が得られたといえる。なお、穂いもちの発生状況は、移植栽培で8.9% (7/79)，直播栽培では50.0% (3/6) であった。

表2 回帰分析に用いる説明変数

説明変数	値
D_1 栽培方法	1=「移植」, 0=「直播」
D_2 品種	1=「ほしのゆめ」, 0=「それ以外」
D_3 土壌条件	1=「粘土・泥炭土」, 0=「砂壤土」
D_4 移植時期	1=「5/18以前」, 0=「5/19以降」
D_5 穂いもち発生	1=「発生あり」, 0=「発生なし」
D_6 前歴深水実施時期	1=「危険期5~9日前」, 0=「その他」
D_7 危険期深水	1=「水深15cm以上」, 0=「水深15cm以下」
D_8 落水期	1=「8/20以前」, 0=「8/21以降」

表3 説明変数の回答分布

D_i	値	回答割合
土壌条件 $n=85$	粘土・泥炭土 $D_i=1$	60.0% { 粘土 7.1% 泥炭土 52.9%
	砂壤土 $D_i=0$	40.0%
移植日 $n=79$	5/18以前 $D_i=1$	67.1%
	5/19以降 $D_i=0$	32.9%
穂いもち $n=85$	発生あり $D_i=1$	11.8%
	発生なし $D_i=0$	88.2%
前歴深水 $n=85$	危険期5~9日前 $D_i=1$	44.7%
	その他 $D_i=0$	危険期~10日前 5.9%
		危険期1~4日前 34.1%
実施なし 15.3%		
危険期深水 $n=85$	水深15cm以上 $D_i=1$	65.9%
	水深15cm以下 $D_i=0$	34.1%
落水期 $n=85$	8/20以前 $D_i=1$	8/11~20 58.8%
		~8/10 18.8%
	8/21以降 $D_i=0$	22.4%

資料) 図2と同じ

注) 移植日には直播栽培を含まない。

表4 冷害被害の要因解析 (回帰分析結果)

説明変数	回帰係数 (推計値)	t-stat	p-value
D_{Const} 定数項	86.491	14.615	0.000
D_1 栽培方法	-22.231	-4.285	0.000
D_2 品種	6.107	2.474	0.016
D_3 土壌条件	1.600	0.618	0.539
D_4 移植時期	-3.571	-1.337	0.185
D_5 穂いもち発生	-8.637	-2.254	0.027
D_6 前歴深水	4.595	2.006	0.048
D_7 危険期深水	3.833	1.582	0.118
D_8 落水期	0.565	0.175	0.862
n	85		
$Adj.R-sq$	0.197		
$F-stat$	3.578	$p-value$	0.001

資料) 図2と同じ

注) 太字は、回帰係数が有意水準5%でゼロと統計的に差があることを表す。

品種については、図2の比較で統計的な差が見られなかったが、回帰分析の結果からは、ほしのゆめほど冷害被害が少ないことが確認される。ほしのゆめの耐冷性は「強」、きららは「やや強」という違いを踏まえれば、品種特性としての耐冷性が今回の冷害被害に影響を及ぼしたといえる。

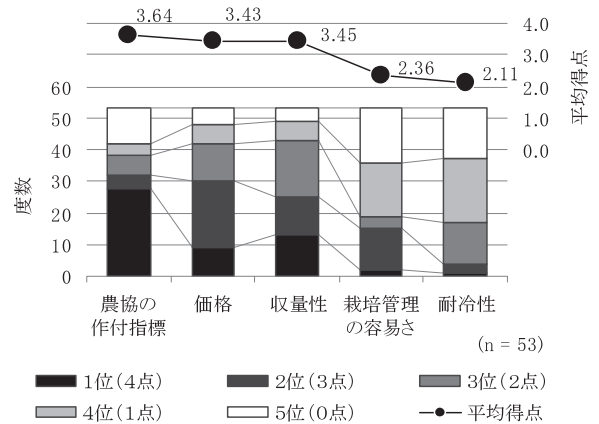
また、そうした栽培方法や品種以外にも、播種後の栽培管理が冷害被害に影響を及ぼしている。とくに深水灌漑(前歴深水, 危険期深水)に係る回帰係数はともに高い値となっており、冷害回避のための重要な管理ポイントであると推察される。ただし、直接的な不稔防止を目的とする危険期(減数分裂期)の水深は、統計的な有意性を持つほど影響は大きくなく、それよりも耐冷素質の強化を目的とした前歴(幼穂形成期)の深水灌漑が統計的に有意な要因となっていることが確認される。したがって、冷害リスクの回避には、前歴からの徹底した深水灌漑が必要であるといえる。

その他、移植時期については統計的な有意性はないが、係数の符号を見る限り、移植時期の遅いほど冷害被害が少ない傾向にあったといえる。これについて、5月の気温、日照時間が平年を上回っていたことを踏まえるならば、冷害というよりも、5月18日から19日にかけて旭川周辺で生じた強風(最大瞬間風速20m以上)による風害が影響したものと考えられる。

3) 農家の冷害態度と栽培管理

図3は、農家における水稻品種選択基準の優先順

位を聞いた結果である。これをみると、最も重要視されるのは農協の作付指標であり、次いで価格や収量性など収入面に關わる要因を重視する傾向にある。一方、耐冷性は最も重視されない基準であり、品種選択における農家の冷害リスクに対する意識は、相対的に低いものと判断される。



資料) 図2と同じ

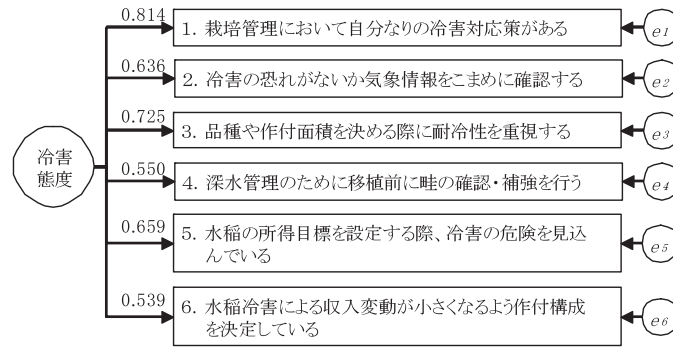
注) 不明回答を除く。

図3 水稻の品種選択基準

では、農家の冷害リスクに対する意識が、表3にあるような対応にどのような影響を及ぼしているか。以下では、冷害態度と栽培管理の実施状況との関係について検討する。

ここでは、農家の冷害リスクに対する態度として、経営の冷害対応に関する6つの質問回答をもとに、図4のような因子分析(一因子モデル)によって抽出した態度因子を指標として用いる。そして、その冷害態度因子とともに水稻作付面積を説明変数、各栽培管理の実施状況(2値)を被説明変数としたロジスティック回帰分析を適用することで、その因果関係の分析を試みた。

表5はその分析結果である。まず、品種についてみると、冷害態度因子については有意な影響関係がみられなかった。これは耐冷性が重要視されていなかったことと整合的である。一方、水稻作付面積は統計的に有意な影響を及ぼしている。また、そのオッズ比が1を下回ることから、作付規模の拡大に伴い、ほしのゆめ以外の品種を作付ける傾向にあるといえる。これは作付規模の拡大に伴って、作業競合回避(作期の拡大)を目的として複数品種を導入することが背景にあるものと考えられる。



資料) 図2と同じ

注1) サンプル数は57。

2) 矢印上の数値は因子負荷量を表す。

3) 質問の選択肢は、「当てはまる(2点)」、「少し当てはまる(1点)」、「当てはまらない(0点)」の3段階評価とした。

図4 農家の冷害態度(1因子モデルの結果)

表5 ロジスティック回帰分析結果

被説明変数		説明変数		
		水稲作付面積	冷害態度因子	定数項
品種 (ほしのゆめ=1)	<i>Coefficient</i>	-0.042	-0.110	0.908
	<i>P-value</i>	0.046	0.668	0.034
	<i>オッズ比</i>	0.959	0.896	2.479
移植時期 (5/18以前=1)	<i>Coefficient</i>	0.030	0.747	-1.267
	<i>P-value</i>	0.123	0.024	0.005
	<i>オッズ比</i>	1.030	2.111	0.282
穂いもち (発生あり=1)	<i>Coefficient</i>	0.051	1.286	-3.838
	<i>P-value</i>	0.026	0.025	0.000
	<i>オッズ比</i>	1.053	3.619	0.022
前歴深水 (5~9日前=1)	<i>Coefficient</i>	-0.012	0.050	-0.110
	<i>P-value</i>	0.509	0.840	0.781
	<i>オッズ比</i>	0.988	1.052	0.896
危険期深水 (水深15cm以上=1)	<i>Coefficient</i>	-0.014	0.629	0.888
	<i>P-value</i>	0.446	0.027	0.037
	<i>オッズ比</i>	0.986	1.876	2.431

資料) 図2と同じ

注1) サンプル数は81。

2) 太字は、推計値が有意水準5%で統計的に0と差があることを表す。

3) 下線部は、オッズ比が1より大きい変数で、当該変数の値の増加に伴って、被説明変数=1に該当する確率が高くなることを意味する。逆に、斜体は1より小さい変数を表す。

移植時期については、冷害態度因子の係数が有意な値を示し、かつ冷害態度が強いほど移植時期が早い傾向にあることが示された。これは生育期間を確保することで冷害リスクを回避しようとする行動の表れであると考えられる[†]。

[†] ただし、表4の結果では、移植時期が早いほど風害被害を被っていたことから、平成21年産については、冷害意識の強さが裏目に出るかたちになったといえる。

表6 冷害への対処方法に関する情報源

冷害態度		低	中	高
n		18	18	18
情報源	雑誌、新聞等	0.72	0.67	0.61
	近隣農家	0.72	0.94	0.89
	農協	0.89	1.28	1.28
	普及センター	0.50	0.83	1.28
	試験研究機関	0.28	0.50	0.94

資料) 図2と同じ

注1) サンプル数は54。

2) 冷害態度の「低」「中」「高」は、それぞれ冷害態度因子の第1三分位範囲、第2三分位範囲、第3三分位範囲を表す。

3) 数値は、各情報源に関する回答「特に参考にした」「参考にした」「参考にしていない」を、2点、1点、0点とした場合の平均値である。

4) 太字は、平均値上位3位までの項目を表す。

穂いもちについては、水稻作付面積が大きいほど、また冷害態度が強いほど発生するという、逆説的な結果となった。これは栽培方法の間接的な影響が関与しているものと考えられる。穂いもちの発生確率は直播栽培ほど高かったが、同時に直播導入農家ほど規模が大きく、冷害に対する意識が強かったことが影響している。

最後に、深水管理（前歴深水と危険期深水）についてである。まず、危険期深水に対しては、冷害態度因子が統計的に有意な影響を及ぼしている。オッズ比が1を上回っているように、冷害に対する意識が高いほど、適切な水深で管理していると言える。したがって、危険期深水を徹底させるには、冷害リスクに対する十分な意識付けを行いながら、適切な危険期深水の実施を促していくことが求められる。一方、前歴深水については、冷害態度との関係が見られなかった。すなわち、冷害に対する意識が高くと、前歴深水への十分な対応が図られていないことを意味している。危険期深水よりも前歴深水の徹底が冷害被害の軽減に寄与していたことを踏まえるならば、危険期深水の実施促進の際に、前歴深水の重要性を周知するとともに、適期・適切な前歴深水のための管理方策に関する情報を提供していくことが求められる。

4) 農家の冷害態度と情報入手経路

冷害被害は、農家の深水管理のあり方によって異なり、また深水管理のあり方は農家の冷害意識によって異なることが示された。したがって、深水管理

の徹底には、農家に対して如何に意識付けと管理方策についての情報提供を進めていくかが重要となる。表6は、冷害への対処方法に関する農家の情報入手経路を、冷害態度別に示したものである。ここで特徴として挙げられるのは、冷害態度の程度によって参考にする情報源が異なるという点である。冷害意識の弱い農家群では、雑誌や新聞等のメディア、また近隣農家や農協など身近な情報源を参考にする一方で、普及センターや試験研究機関等の情報はほとんど参考にしていない。逆に冷害態度の強い農家群では、農協や普及センター、試験場など、より専門的な情報源を参考にする傾向がうかがえる。

このことから、情報提供や冷害に対する意識付けには、それぞれの農家にあったコミュニケーション・チャンネルの活用が必要であると考えられる。たとえば、冷害意識の弱い農家に対しては、マスメディアや農協の部会等を通じて、冷害の危険性に関する情報提供を行い、その意識を高めていくことが求められるであろう。また、冷害に対する意識が高まった際には、普及センターや試験場の予測や技術情報を交えて管理方策を提示していくことが重要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、当麻町の水稻農家を対象にアンケート調査を行い、農家の栽培管理の実態とそれらが冷害被害の発生に及ぼす影響、さらに、農家の冷害リスクに対する意識の違いによる栽培管理や冷害の情

報入手経路の相違を明らかにした。

まず、当麻町の平成21年産水稻収量は、冷害被害により、移植栽培で前年比7割前後、直播栽培で前年比8割にとどまった。また、冷害の被害程度は農家によってばらつきがあることが確認された。

栽培管理の実態についても農家間で相違がみられ、栽培方法や品種、穂いもちの発生状況とともに、深水灌漑の実施状況の違いが冷害被害に影響を及ぼしていることが確認された。とくに、深水灌漑では危険期の深水管理よりも前歴深水の徹底が重要な要因であった。

さらに、農家の冷害意識と栽培管理実態の関係を分析した結果、品種選択では冷害に対するリスクはほとんど考慮されておらず、農協の作付指標や経済性、栽培管理の容易さ等が重視されていることが示された。また、深水灌漑について、冷害意識が高いほど危険期深水を実施しているが、前歴深水については必ずしも十分な対応がとられているとは言い難い状況にあった。

農家の冷害に関する情報入手経路との関係については、冷害意識が低いほどマスメディアや近隣農家、農協等の身近な情報を参考にし、冷害意識が高いほど試験研究機関や普及センター等の情報を参考にし

ていた。

冷害リスクを軽減するには、徹底した深水灌漑が重要であるが、そのためにも身近なコミュニケーション・チャンネルの活用によって農家の冷害意識を高め、実施を促す必要がある。また、その際には、危険期の深水管理だけでなく、前歴深水の重要性を周知し、適期・適切な前歴深水のための管理方策について情報を提供することが求められる。

5. 摘 要

本研究では、水稻農家のアンケート調査をもとに、平成21年産水稻の冷害被害に影響を及ぼした栽培管理上のポイント、さらに、農家の冷害態度による栽培管理の実態や冷害情報入手経路の相違について検討した。分析の結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 栽培方法や品種、穂いもちの発生状況とともに、深水灌漑の実施状況（とくに前歴深水）が平成21年産の冷害被害に影響を及ぼしていた。
- 2) 冷害意識が高い農家ほど、専門的な情報を参考にし、危険期深水を実施していたが、前歴深水については必ずしも十分な対応がとられていたとは言い難い。

II Rice (Farm Management)

Katsufumi WAKABAYASHI, Tsuneo NIHEI, and Yoshihiro SHIMA
Farm Management Research Team (Hokkaido Region)

Summary

The purpose of this study was to investigate the cultivation management practices affecting cold weather damage of 2009 rice production in Hokkaido based on a questionnaire survey to rice farmers. Differences in cultivation management practices and in means for obtaining information to prevent cold weather damage were also examined. Results of analysis showed that 1) damage from cold weather in 2009 depended on the deep irrigation method, especially before the booting stage, as well as the cultivation method, variety, and panicle blast infection and 2) farmers who consider the risk of cold weather damage obtained detailed information and used deep irrigation at the booting stage, but they did not necessarily start appropriate deep irrigation before the booting stage.

Ⅲ コムギ

平成21年7月の低温・長雨による北海道の 秋まき小麦における穂発芽被害の解析

西尾善太・伊藤美環子・田引 正・長澤幸一・山内宏昭

1. はじめに

北海道における平成21年の小麦栽培面積は約116,300ヘクタールで、このうち秋まき小麦が107,700ヘクタール、春まき小麦が8,500ヘクタールとなっている。平成21年産の北海道産小麦の収穫量は400,100 tで、前年産に比べて141,400 t (27%)減少した(農林水産統計, 平成22年3月発表値)。これは、小麦の収穫直前の平成21年7月の低温、日照不足及び長雨によって穂発芽の被害が多発したことにより、10 a 当たり収量(単収)が前年産を26%下回り、平年単収(過去7年間の内、上下の2年を除いた平均)に対する比率が73%となったためである。表1に平成21年産の北海道の主要小麦品種の検査数量と等級比率(平成22年3月農林水産省発表値)を示した。

北海道では、秋まきおよび春まき小麦の登熟後期から成熟期にあたる7月中旬から8月中旬にかけてオホーツク海高気圧の勢力が強まると、寒気の南下に伴って最低気温が10℃前後の低温と長雨の気象条件が続きやすい。このため、北海道の小麦栽培が始まって以来、低温と長雨によって小麦の収穫前に一部の種子が発芽する穂発芽の被害(図1)が数年おきに発生している。小麦が穂発芽の被害を受けると、発芽現象に伴い小麦の α -アミラーゼ活性が上昇し、デンプンが分解されて商品価値を失うため、安定生

産を脅かす最も大きな脅威の一つとなっている。

平成21年産の北海道産小麦における穂発芽に伴う規格外発生の被害は、最近の約20年間だけでも、平



図1. 平成21年7月の小麦試験圃場(鹿追町)における穂発芽被害の様子

表1. 平成21年産の北海道産小麦銘柄別の検査数量と等級検査結果(平成22年3月農林水産省発表値)

銘柄名	検査数量(トン)	等級数量			等級比率		
		1等	2等	規格外	1等	2等	規格外
ホクシン	449,302	222,552	113,431	113,318	49.5	25.2	25.2
きたほなみ	47,613	34,128	3,197	10,288	71.7	6.7	21.6
春よ恋	22,915	12,890	3,226	6,799	56.3	14.1	29.7
キタノカオリ	8,153	993	2,050	5,110	12.2	25.1	62.7
きたもえ	4,011	48	425	3,537	1.2	10.6	88.2
ハルユタカ	3,366	815	373	2,179	24.2	11.1	64.7
ホロシリコムギ	3,276	1,383	-	1,893	42.2	-	57.8
タクネコムギ	3,059	834	70	2,155	27.3	2.3	70.5
合計	541,695	273,643	122,772	145,279	50.5	22.7	26.8

成7年の約40%に次ぐ大きな被害となった(図2)。しかし、昭和62年、平成8年、平成11年には約20%、平成14年にも約15%程度の被害が発生しており、春まき小麦では平成7年～14年までの8年間、穂発芽被害のため連続して低収となった(天野ら、2008)。また、秋まき小麦品種「キタノカオリ」では、登熟期間に低温が続くと、発芽しなくても α -アミラーゼ活性が高くなりやすいことが報告されている(中津ら、2006)。

本稿では、平成21年の北海道内の各試験地における気象条件と小麦品種毎の収量および品質についての解析を行い、今後の穂発芽被害を低減するための方策を検討した。

2. 材料と方法

1) 平成21年産の北海道産小麦におけるアミロ値の比較

北海道における小麦優良品種である「ホクシン」、
「キタノカオリ」、
「ゆめちから」の3品種について、奨励品種決定試験の基本調査および現地調査と、北海道農業研究センター(以下、北農研と記す)芽室研究拠点試験圃場の合計16地点(深川市、比布町、

岩見沢市、長沼町、伊達市、今金町、厚沢部町、富良野市、芽室町2カ所、千歳市、音更町、北見市、訓子府町、本別町、鹿追町)において収穫された小麦サンプルを試験に用いた。脱穀、精選した小麦サンプルは、製粉前に軟質小麦の「ホクシン」を14.5%、硬質小麦の「キタノカオリ」、「ゆめちから」を16.0%の水分に調質してビューラー社製テストミル(MLU-202)を用いて製粉し、60%粉を得た。得られた小麦粉について、ブラベンダー社製アミログラムを用いて最高粘度(アミロ値)を測定した。アミロ値はデンプンの正常度の目安で、300BU以上が正常値であるが、300BU未満では、いわゆる「低アミロ」小麦と呼ばれディスカウントの対象となる。

2) 小麦の登熟期間中の平均気温および降雨量とアミロ値の比較

小麦の登熟中の気温がアミロ値に与える影響を調べるため、過去3年間(平成18～20年産)に「ホクシン」、「ゆめちから」、「キタノカオリ」の3品種の奨励品種決定試験が行われた各試験地の気象データをアメダスから取得した。各試験地の最寄りのアメダス地点のデータから、平成21年の日毎の降雨量および小麦の開花から登熟期まで(6月中旬～7月中

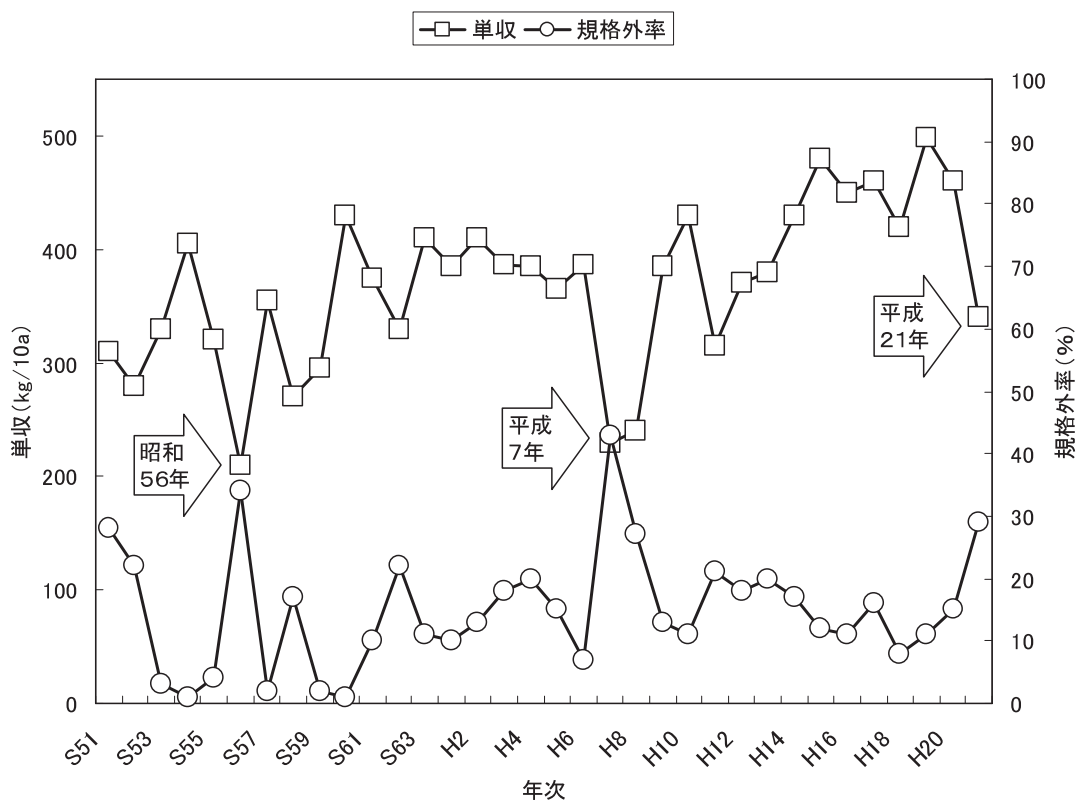


図2. 過去約30年間の北海道産小麦の単収と規格外率の推移

旬)の降雨量と平均気温を取得し、各地点の収穫物のアミロ値と比較した。

3. 結果と考察

1) 平成21年産の北海道産小麦におけるアミロ値の比較

平成21年産の「ホクシン」の北海道内の各試験地におけるアミロ値を図3に示した。「ホクシン」は15サンプル中8サンプル(53%)においてアミロ値が300BU以下の低アミロとなった。隣接する十勝農試と北農研におけるアミロ値の違いは、両試験地に

おける倒伏程度の差異(十勝農試:無,北農研:多)に起因すると考えられた。「ゆめちから」の各試験地におけるアミロ値を図4に示した。「ゆめちから」は17サンプル中8サンプル(47%)においてアミロ値が300BUを下回ったが、「ホクシン」よりもやや被害は少なかった。「キタノカオリ」の各試験地におけるアミロ値を図5に示した。「キタノカオリ」は10サンプル中9サンプル(90%)においてアミロ値が300BUを下回り、ほぼ全ての地点で低アミロとなった。上記の3品種とも、「低アミロ」発生地点に特に地域的な偏りは見られなかった。

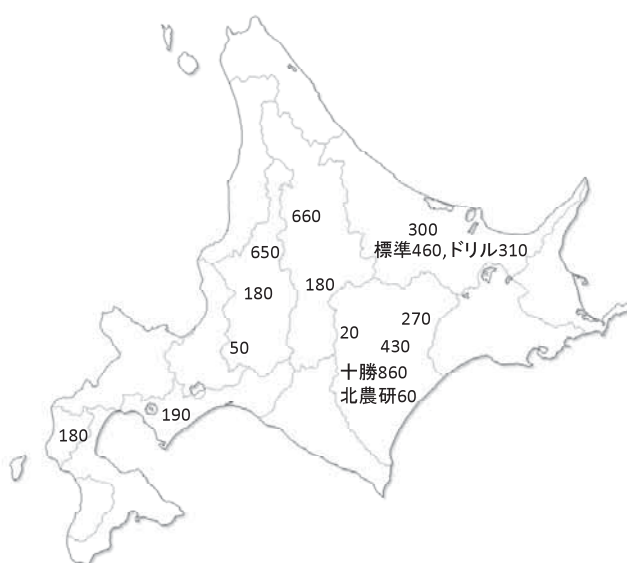


図3. 平成21年産の「ホクシン」の北海道内の各試験地におけるアミロ値
 注) 北見農試の「標準」は手播き区, 「ドリル」はドリル播種区それぞれの分析値
 「十勝」は十勝農試サンプル, 「北農研」は北農研芽室研究拠点サンプル

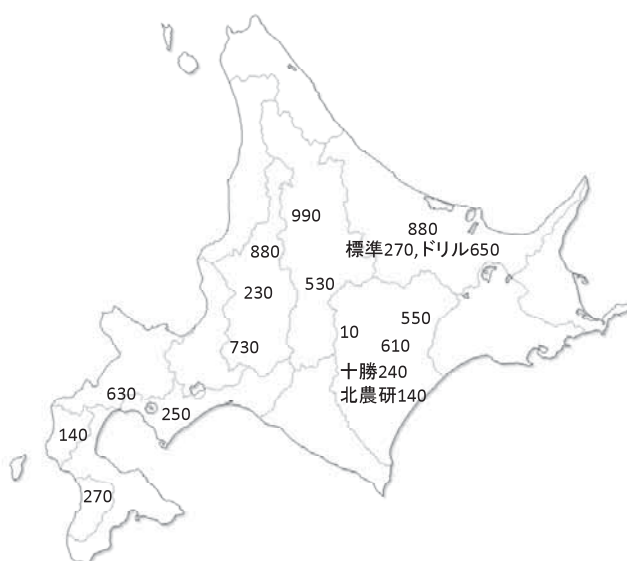


図4. 平成21年産の「ゆめちから」の北海道内の各試験地におけるアミロ値
 注) 北見農試の「標準」は手播き区, 「ドリル」はドリル播種区それぞれの分析値
 「十勝」は十勝農試サンプル, 「北農研」は北農研芽室研究拠点サンプル



図5. 平成21年産の「キタノカオリ」の北海道内の各試験地におけるアミロ値
 注) 北見農試の「標準」は手播き区, 「ドリル」はドリル播種区それぞれの分析値
 「十勝」は十勝農試サンプル, 「北農研」は北農研芽室研究拠点サンプル

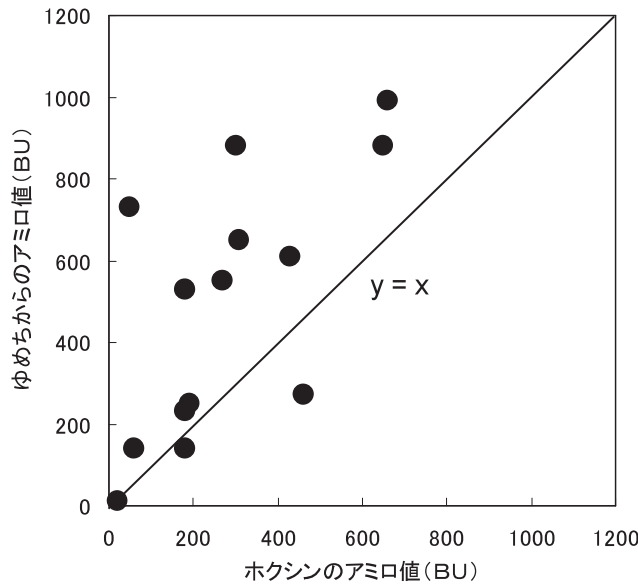


図6. 平成21年産の同一地点で栽培された「ゆめちから」と「ホクシン」のアミロ値の比較 (北海道内14地点)

「ホクシン」と「ゆめちから」の両方のサンプルが入手可能であった14地点におけるアミロ値の比較を図6に示した。y = xの回帰直線が両品種のアミロ値が等しい位置を示す。平成21年産では、14地点中11地点において「ゆめちから」のアミロ値が「ホクシン」のアミロ値を上回り、「ゆめちから」の方が「ホクシン」よりも穂発芽被害に対する耐性が若干優れることが示された。ただし、「ゆめちから」の成熟期は「ホクシン」よりも平均して2日遅いため、さらに年次を重ねて検討する必要がある。

2) 小麦の登熟期間中の平均気温および降雨量とアミロ値の比較

過去3年間(平成18~20年産)の奨励品種決定試験における「ホクシン」, 「ゆめちから」, 「キタノカオリ」における6月中旬~7月中旬の平均気温とアミロ値の比較を図7に示した。

「キタノカオリ」については過去3年間のアミロ値と平均気温の間に有意な正の相関が観察され (r=0.89, N=17, P<0.01), 中津ら(2006)の報告と同様に、登熟中の平均気温が約17℃を下回るとほぼ

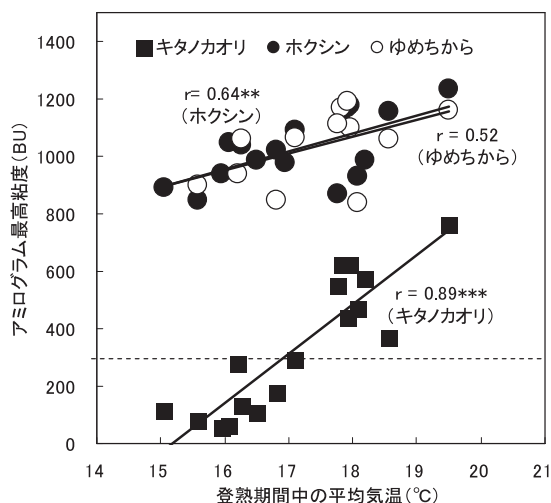


図7. 平成18～20年の「ホクシン」, 「ゆめちから」, 「キタノカオリ」における6月中旬～7月中旬の平均気温とアミロ値の比較。点線は低アミロの基準値である300BUを示す。
** P<0.05, ***P<0.01

低アミロとなっていた。「ホクシン」と「ゆめちから」においてもアミロ値と平均気温の間に正の相関が認められ、「ホクシン」では統計的に有意であった。しかし両品種共に、平均気温が最も低い地点においても低アミロとなるサンプルは見られなかった(図7)。

平成21年産の「ホクシン」, 「ゆめちから」, 「キタノカオリ」における6月中旬～7月中旬の平均気温とアミロ値の比較を図8にそれぞれ示した。平成21年の登熟期間の平均気温は約16～18°Cの間に分布していたが、3品種共にアミロ値と平均気温の間に有意な相関関係は認められなかった。平成21年産の「キタノカオリ」はほぼ全地点で低アミロとなったため、低温の影響に加えて降雨の影響が大きかったと推測された(図8c)。同様に「ゆめちから」と「ホクシン」においても平均気温に関わらず低アミロの地点が見られることから、降雨の影響が大きかったと推測された(図8a, b)。

表2に奨励品種決定試験地における平成21年7月の日毎の降雨量と「ホクシン」および「ゆめちから」のアミロ値の関係を示した。ほぼ全ての地点において、成熟期の7日から10日前より断続的に降雨を観測した。特にアミロ値が低かった鹿追町では、成熟期の18日前から断続的に降雨を観測した。平成21年7月は北海道内全体で平年のおよそ2～3倍の降雨

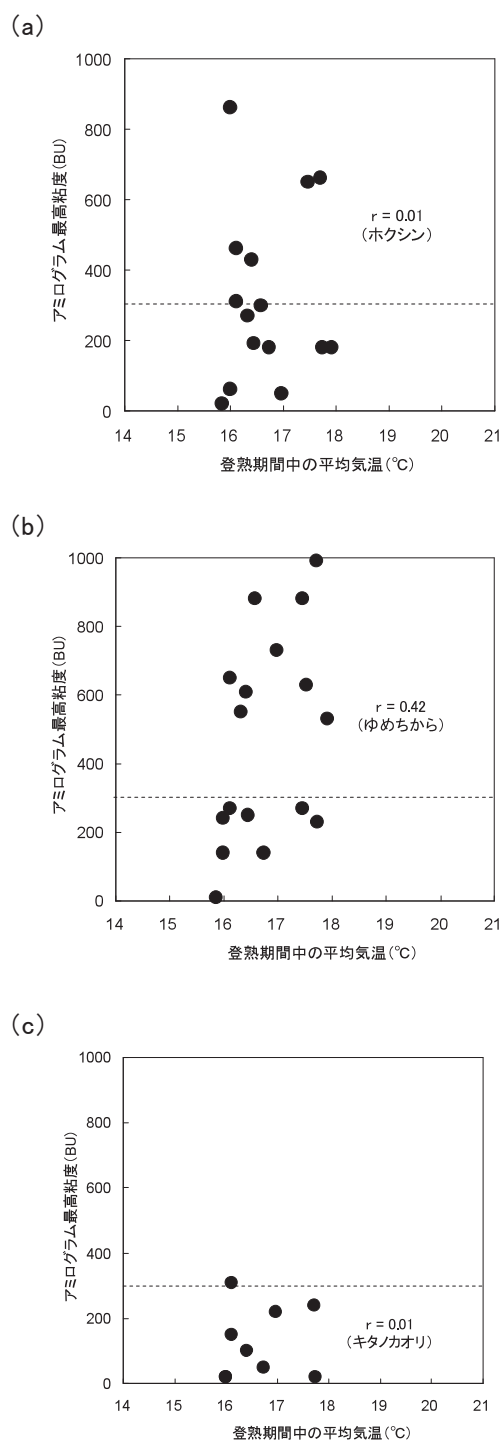


図8. 平成21年の(a)「ホクシン」, (b)「ゆめちから」, (c)「キタノカオリ」における6月中旬～7月中旬の平均気温とアミロ値の比較。点線は低アミロの基準値である300BUを示す。

量が観測されていることから、断続的な降雨で穂が濡れた状態が長時間続き、さらに圃場の滞水および倒伏が例年よりも多発したことが、大きな穂発芽被

害を招いた主な要因と考えられた。今後、降雨期間の気温を考慮に入れることで精度の高い解析が可能になると考えられる。

気象条件によって引き起こされ、人為的な抑制手段が存在しない穂発芽の被害をコントロールするためには、「穂発芽耐性品種」の利用が最も効果的な選択肢である。穂発芽耐性の品種改良は古くより取り組まれているが、従来の北海道の小麦品種は穂発芽に対する耐性が十分なレベルとは言えなかった。

北海道立北見農業試験場（以下、北見農試と記す）で育成された系統「北系1354」は、降雨が続いた極端な晩刈り条件でもアミロ値が高く維持され、有望な穂発芽耐性の育種素材として見いだされた（長内, 1985）。「59045（ホクシン）／北系1354」の組み合わせから、平成12年に穂発芽性「やや難」の「きたもえ」が育成された。さらに「北見72号（きたもえ）／北系1660」の組み合わせから平成18年に「きたほなみ」が育成された。「きたほなみ」は耐穂発芽性が「やや難」で（柳沢ら, 2007）、平成21年産においても「ホクシン」と比較して1等の比率が20%以上高く、規格外の比率は約5%低かった（表1）。さらに、「きたほなみ」よりも穂発芽耐性が優れる穂発芽「極難」の小麦系統の開発が、元北海道立上川農業試験場長内俊一博士、北見農試麦類科らによって精力的に進められており、収量性や耐病性が改善された新規の穂発芽「極難」系統が育成されている（西村ら, 2010）。北農研の小麦育種において

は、平成20年に育成した「ゆめちから」の穂発芽耐性は「ホクシン」と比較してやや優れる程度であり、「きたほなみ」並みの穂発芽耐性を目指した秋まきパン用小麦品種の改良が急がれている。今後、穂発芽「極難」系統を積極的に育種に取り入れ、穂発芽耐性の強化を推進する必要がある。

4. 摘要

平成21年7月の低温および長雨によって小麦の穂発芽の被害が多発したことにより、北海道産小麦の収穫量は平年の73%となった。このため、平成21年の北海道内の各試験地における気象条件と小麦品種毎の収量および品質を解析した。北海道内の各奨励品種決定試験地で栽培された「ホクシン」は53%、「ゆめちから」は47%、「キタノカオリ」は90%が低アミロであった。3品種とも平均気温とアミロ値の間には有意な相関関係は認められなかった。穂発芽耐性が優れる新品種の「きたほなみ」は、「ホクシン」と比較して1等の比率が20%以上高く規格外の比率は約5%低かった。平成20年に育成した「ゆめちから」の穂発芽耐性は「ホクシン」よりもやや優れる程度で、秋まきパン用小麦品種の穂発芽耐性の強化を積極的に推進する必要がある。

5. 引用文献

天野洋一、庵 英俊、筒井一郎（2008）最近20年間における道産小麦のアミロ粘度 第13回穂発芽

表2. 奨励品種決定試験地における平成21年7月の日毎の降雨量と「ホクシン」および「ゆめちから」のアミロ値の関係

降水量	深川市	上川農試	岩見沢市	厚沢部	中央農試	今金町	富良野市	北農研	伊達	千歳市	音更町	北見市	北見農試	本別町	鹿追町
7月11日				2		15			1						
7月12日				2		1									
7月13日	40	1	2	7	14	38	24	21	2	34	22	17	28	27	42
7月14日			1	6	1	4						2	1		
7月15日	8	15	13	69	3	72	14	27	33	33	29	6	3	27	4
7月16日	2	2	11		2		1			1					1
7月17日															
7月18日	33	20	5	16	8	5	6	22	2	8	2	4	6	13	17
7月19日	71	7	51	4	53	26	35	25	22	62	22	33	37	24	33
7月20日		2						1			2	5	3		1
7月21日	6	2	6	14	2	2	9	12	3	8	13		1	10	2
7月22日	17	14	9	7	1	2	1	15	19	9	16	16	18	18	13
7月23日		2		1					1						
7月24日		8				4		4		2	5	3	1	14	2
7月25日	13	34	7	45	17	1	26	15	2	13	16	30	26	27	27
7月26日	6	2	2	7	3	1	5	1	1	3	2	7	6	4	7
7月27日	12	14	2	19	3	7	19	32	26	29	33	22	19	47	29
7月28日	2	17	5	1	4	1	5		2	1		7	7	1	2
7月29日	1	2		3				2	1		2		1		1
7月30日				1				5		1	5	12	4	7	4
7月31日															
ホクシン	650	660	180		50	180	180	60		190	430	300	310	270	20
ゆめちから	880	990	230	270	730	140	530	140	630	250	610	880	650	550	10

注) 縦軸—平成21年の日付, 横軸—試験地点
網がけ—1日間隔以下で降雨を観測した日, 数値は観測された降雨量
太枠線—「ホクシン」の成熟期, 「ゆめちから」の成熟期は, およそその2日後

研究会ワークショップ資料

天野洋一 (2010) 平成21年産小麦の穂発芽被害を振り返って 第15回穂発芽研究会ワークショップ資料

長内俊一 (1985) 道産小麦の安定生産条件<第2回> 北農 第52巻, 第4号, 1-19

長内俊一 (2010) 小麦の低温穂発芽耐性系統の育成 北農 第77巻, 第2号, 142-176

中津智史, 佐藤康司, 佐藤仁, 神野裕信 (2006) 秋まきコムギ品種キタノカオリにおける低アミロコムギの発生要因 日本作物学会紀事 第76巻, 第1号, 79-85

西尾善太, 伊藤美環子, 田引 正, 長澤幸一, 山内

宏昭 (2010) 北農研における平成21年産秋まき小麦の穂発芽について 第15回穂発芽研究会ワークショップ資料

西村 努, 小林 聡, 樋浦里志, 吉村康弘 (2010) 北見農試における秋まき小麦の穂発芽抵抗性育種について 第15回穂発芽研究会ワークショップ資料

柳沢 朗, 吉村康弘, 天野洋一, 小林 聡, 西村 努, 中道浩司, 荒木和哉, 谷藤 健, 田引 正, 三上浩輝, 池永光伸, 佐藤奈奈 (2007) 秋まきコムギ新品種「きたほなみ」の育成 北海道立農試集報 第91巻 1-13

III Wheat

Analysis of pre-harvest sprouting damages of winter wheat in Hokkaido by continuous low temperature and rainy weather in July of 2009.

Zenta NISHIO, Miwako ITO, Tadashi TABIKI, Koichi NAGASAWA, and Hiroaki YAMAUCHI

Bread Wheat Research Team

Summary

Due to continuous low temperature and rainy weather in July of 2009, the wheat production in Hokkaido was decreased by 27% mostly because of pre-harvest sprouting damage. The relationships between precipitation, temperature, wheat yield and quality were analyzed among wheat nurseries in Hokkaido. The percentage of pre-harvesting samples (i.e., MV < 300BU by an amylograph) out of all samples was 53% for the wheat variety 'Hokushin', 47% for 'Yumekikara', and 90% for 'Kitanokaori'. The relationships between mean temperature during wheat maturing and flour MV value were not significant for all three varieties. The new variety 'Kitahonami' with improved pre-harvest sprouting tolerance showed an approximately 20% higher first grade rate and an approximately 5% lower irregular grade rate than those of 'Hokushin'. Even though the pre-harvest sprouting tolerance level of 'Yumekikara' was slightly higher than that of 'Hokushin', there is an urgent need for improvement of pre-harvest sprouting tolerance in hard red winter wheat in Hokkaido.

IV バレイショ

森 元幸

北海道農業研究センター バレイショ栽培技術研究チーム

1. 芽室研究拠点における生育および収量の概況

1) 気温、日照時間および雨量の経過

図1に気象庁の芽室観測地点（河西郡芽室町）における気象データを基に、6月1日を起点とし算出した積算雨量、積算温度および積算日照時間を示した。比較対象期間はバレイショが生育する6月から8月までの3ヶ月間とし、2004年から2009年の6年間を抽出した。また比較対象期間は、次項で解析する生育経過追跡調査と対比が可能となるよう同じ年度を設定した。

2009年の8月30日における積算雨量は、過去5年に比べ最も多く平均値と比べて6割増となり、特に7月中下旬に多量の降水により増加した。2009年の8月30日における積算温度は、過去5年と比べ最も低いが、比較対象期間で2008年との差は僅かではほぼ同様な推移であった。2009年の8月30日における積算日照時間は、過去5年と比べ2006年よりは高く、2008年とほぼ同様な推移であった。

2) 地上部および地下部の生育経過の概況

有望系統およびその比較品種について、7月1日から茎葉の枯凋時期まで、2週間ごとに地上部および地下部の生育経過追跡調査を実施している（津田2002）。そこで2009年に供試した品種の中で2004年以降ほぼ連続して供試した品種を検討し、「男爵薯」および「ホッカイコガネ」について北海道農業研究センター芽室圃場における2004年から2009年のデータを抽出した。解析した調査形質は、地上部の推移を示す茎葉生体重、上いも数、上いも平均一個重、上いも重、でん粉価およびでん粉重とした。

「男爵薯」の結果を図2に示した。地上部の茎葉生体重は、2009年の生育前半は例年並みであったが、7月下旬に急激に増大し過去5年に比べ最大となり、8月に入ると一転して急激に減少し、やや早期に枯凋した。2009年の上いも平均1個重は、過去5年の平均値と比べやや小さめに経過した。上いも数と上いも重は、過去5年の平均値とほぼ同様な経過であった。2009年のでん粉価は、過去5年の平均値に比べ上昇が2週間ほど遅く、7月下旬でようやく2008

年の水準に達し、その後は2008年と同様な推移を示した。2009年のでん粉重は、2006年とほぼ同様な経過であったが、2006年は上いも重が小さいことが主な要因となり、2009年にはでん粉価が低いことが主な要因となり、それぞれ低水準となった。

「ホッカイコガネ」の結果を図3に示した。2009年の地上部の茎葉生体重は、重量が低かった2005年を除く過去4年の平均と比べほぼ同様な経過であった。2009年の上いも数、上いも平均1個重、上いも重およびでん粉収量も、過去5年の平均値と比べほぼ同様な経過であった。2009年のでん粉価は過去5年に比べ上昇が2週間ほど遅く、7月下旬でようやく高くなり、その後は過去5年の平均値と比べほぼ同様な経過となった。

3) 生育経過と気象要因との関係

2009年の茎葉生体重は、早生品種の「男爵薯」で7月中旬以降に変動が大きく、晩生品種の「ホッカイコガネ」では安定した推移であった。これは「男爵薯」が7月中下旬の多湿条件に反応して徒長し、降水とともに肥料が流亡して早期の枯れ上りを招いたためと推察される。早生品種は晩生品種に比べ根量が少なく（岩間ら1979）、このため早生品種への影響がより大きかったと推察された。

2009年は「男爵薯」および「ホッカイコガネ」に共通して、でん粉価の立ち上がりが遅れた。積算温度が7月上旬まで低く推移したために生育が遅れ、さらに積算日照時間が7月上旬まで低く推移したため塊茎への光合成産物蓄積が遅れたと推察された。

2. 北海道立農業試験場における収量の概況

北海道の優良品種決定のために、有望系統および比較品種を道内の農業試験場に供試している。そこで年度を通じて共通に供試した品種のデータを抽出し、収量の検討を行った。道立農業試験場（中央、上川、十勝、北見）の4カ所において、2004年から2008年の5年間と2009年における「男爵薯」、「トヨシロ」および「コナフブキ」の3品種について、上いも重およびでん粉価の比較を行った。また、各試

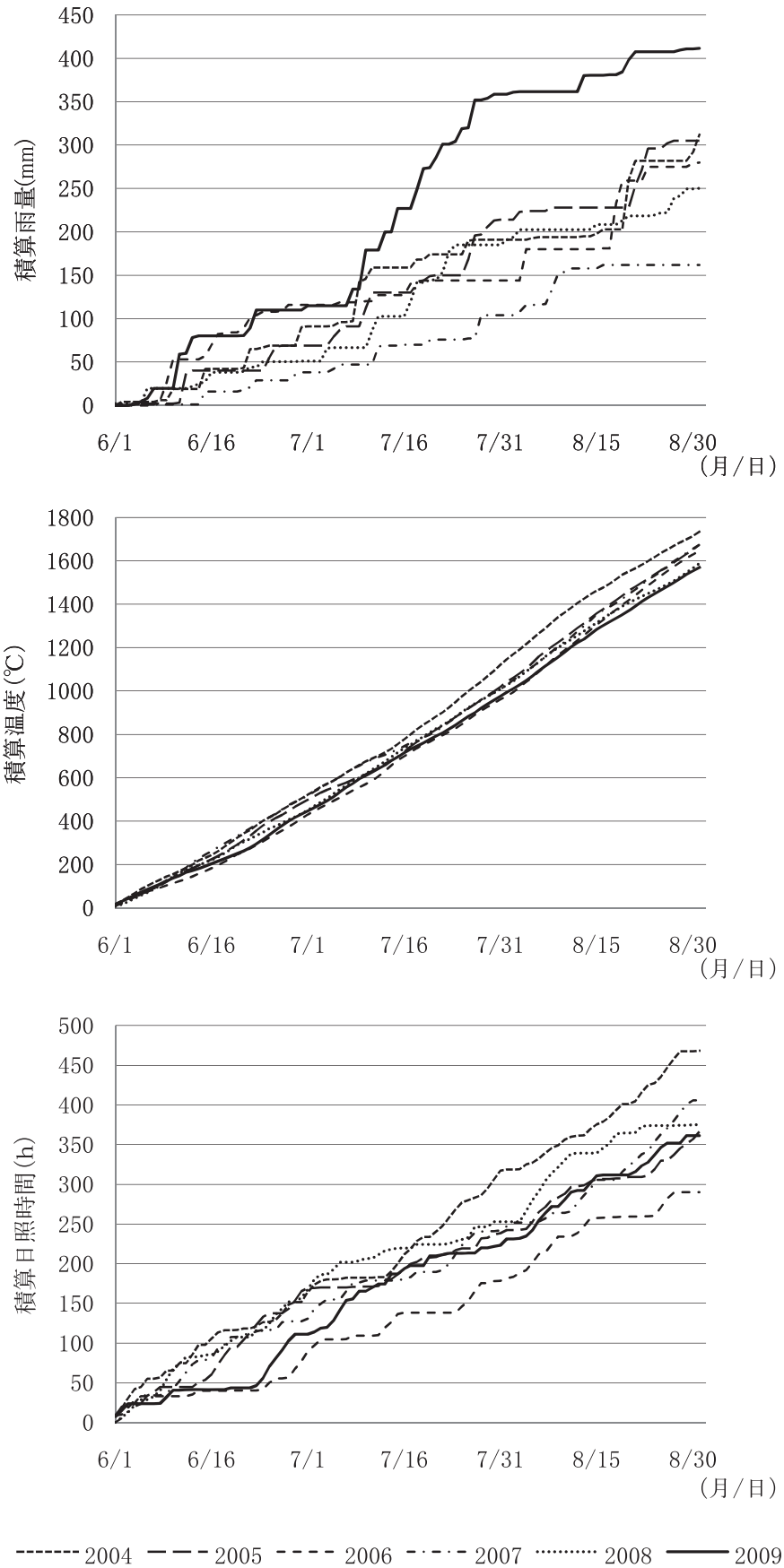
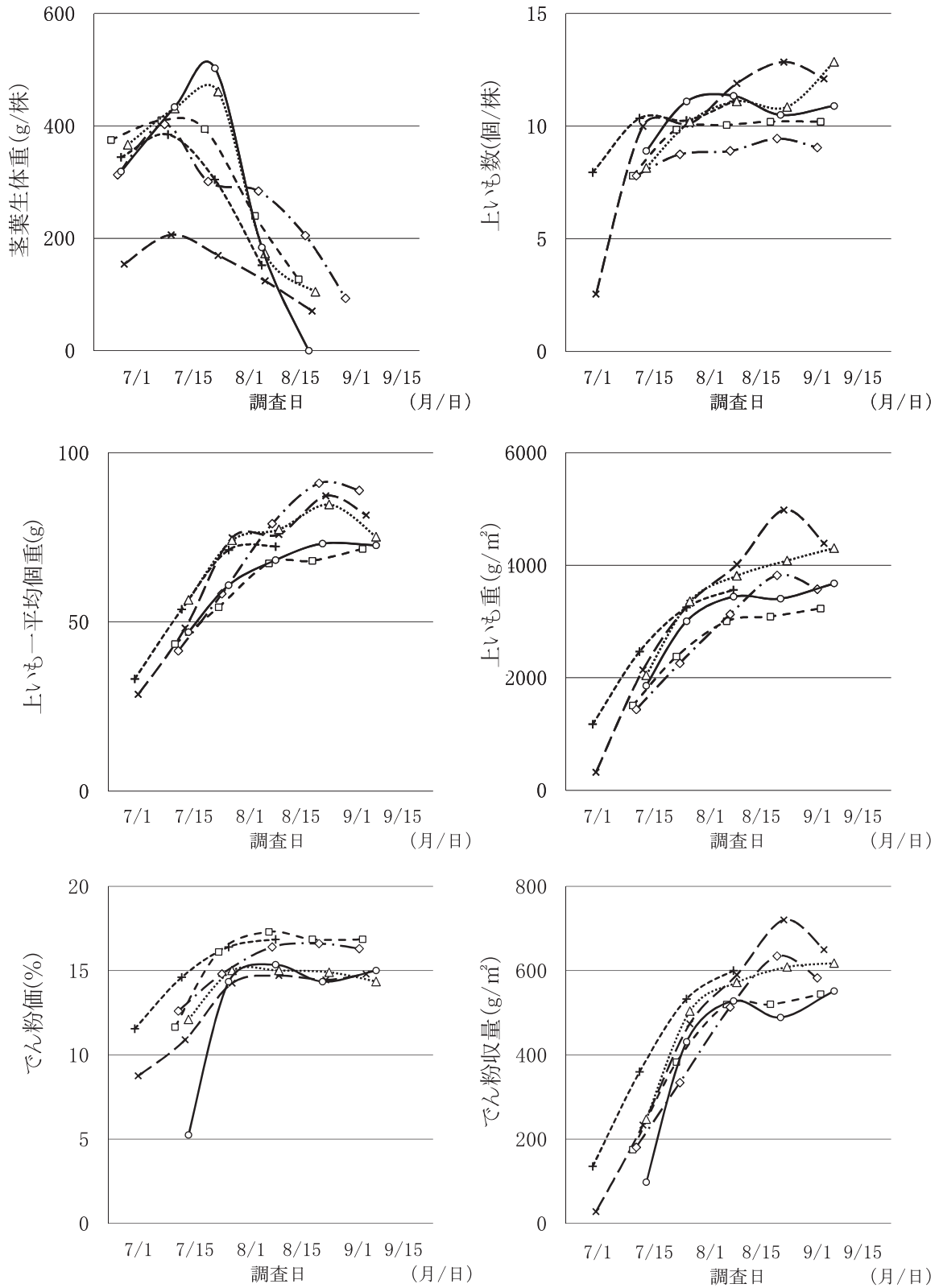


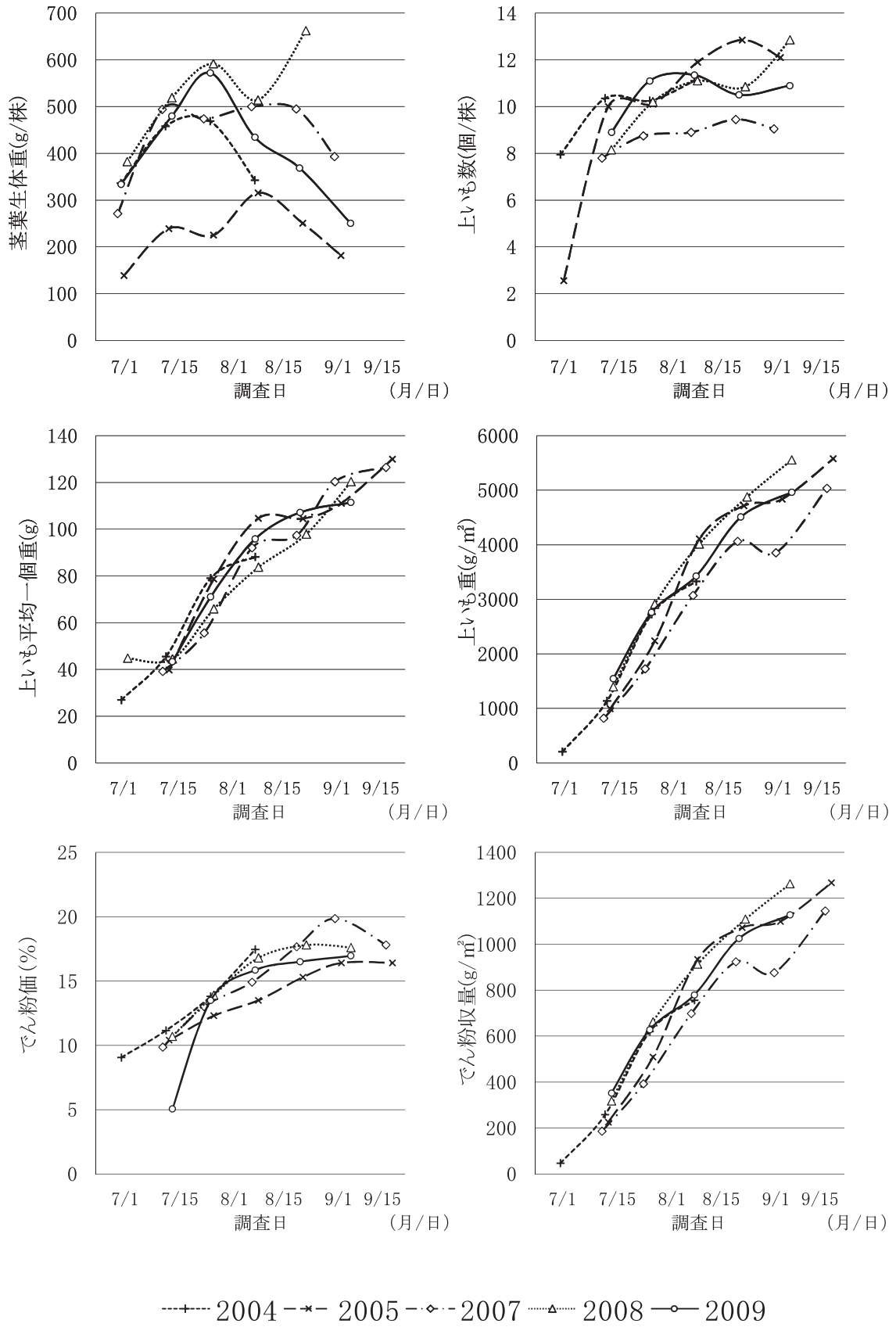
図1 積算雨量、温度、日照時間の推移 (2004~2009)



.....2004 -*-2005 -.-2006 -◇-2007 -△-2008 —○—2009

注, 上いも重:20g以上の塊茎の重量合計

図2 「男爵薯」の生育追跡調査 (2004~2009)



注, 上いも重:20g以上の塊茎の重量合計

図3 「ホッカイコガネ」の生育追跡調査 (2004, 2005, 2007~2009)

験地の土壌条件を表1に示した。

表1 道内農業試験場における試験圃場の土壌条件

場所	区分	土壌条件
中央農試	転換畑	細粒褐色低地土
上川農試	転換畑	礫質褐色低地土
十勝農試	畑地	淡色黒ボク土
北見農試	畑地	表層多腐植質多湿黒ボク土
北農研・芽室	畑地	淡色黒ボク土

上いも重を図4に示した。2009年の上いも重は過去5年間に比べ、中央農試において「トヨシロ」および「コナフブキ」でThompsonの棄却検定において差があった。中央農試では、上いも平均一個重は過去5年間よりやや大きいものの株当たりの上いも数が少なく、このため上いも重が低下したと考えられる。他の3農試では、差がなかった。

でん粉価を図5に示した。2009年のでん粉価は過去5年間に比べ、北見農試の「男爵薯」と「コナフブキ」において差があった。北見農試において、疫病の初発は6月30日と早く、降雨続きで適期に薬剤散布を行うことができなかつたため試験区で疫病が蔓延し、生育後半で十分な葉面積を維持できなかったことが原因であった。また上川農試の「トヨシロ」において、2009年のでん粉価は過去5年間に比べ有意に下回り、これは8月中旬以降の高温により枯凋が早く進行したことが原因と考えられた。中央農試および十勝農試では、差が認められなかった。

十勝農試によれば、2009年の特徴は湿害の発生である（十勝農試・北見農試 2009）。これは6月中旬から7月にかけて降水量が平年に比べ非常に多かったことによるもので、被害の程度は圃場の排水性により大きく異なった。湿害の発生には地域差が見られ、十勝では排水の悪い土壌が多い南部および東部の沿海地域で多い傾向にあった。過去の事例では1993年に湿害の影響を受けており、地域により10～

15%の減収が見られた。また北見農試によれば、疫病の発生が例年よりやや早く、発生量も多い傾向で、被害程度は初期防除のタイミングなどで圃場により差が認められた（十勝農試・北見農試 2009）。

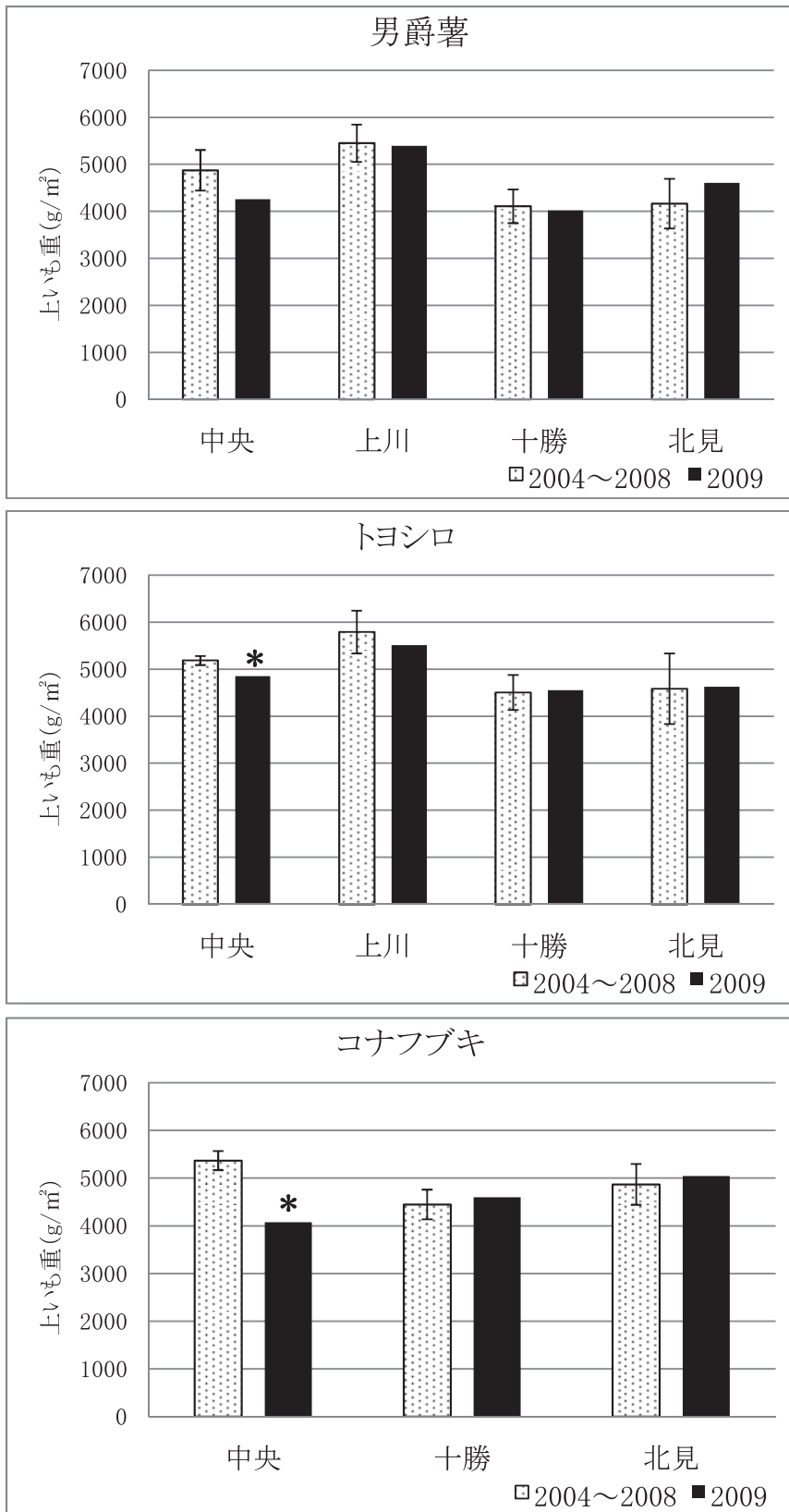
2009年は地域および圃場による収量差が大きく、北海道全体に共通する低収要因は認められなかった。低収量の発生要因は、低温および寡照による影響よりも、主に降水量が多いことに起因する湿害もしくは疫病の蔓延であると考えられた。

3. 摘要

2009年の芽室研究拠点におけるバレイショの生育経過は、以下のようであった。茎葉生体重は、早生品種の「男爵薯」で7月中旬以降に変動が大きく、晩生品種の「ホッカイコガネ」では安定した推移であり、根量の少ない早生品種が多雨の影響をより大きく受けたためと推察された。でん粉価の推移は、「男爵薯」および「ホッカイコガネ」とも上昇が遅れた。これは低温で生育が遅れ、日照が少ないため塊茎への光合成産物蓄積が遅れたためと推察された。2009年の収量は、北海道内の地域および圃場による差が大きく、共通する低収要因は認められなかった。低収量の発生要因は、低温および寡照による影響よりも、主に降水量が多いことに起因する湿害もしくは疫病の蔓延であると考えられた。

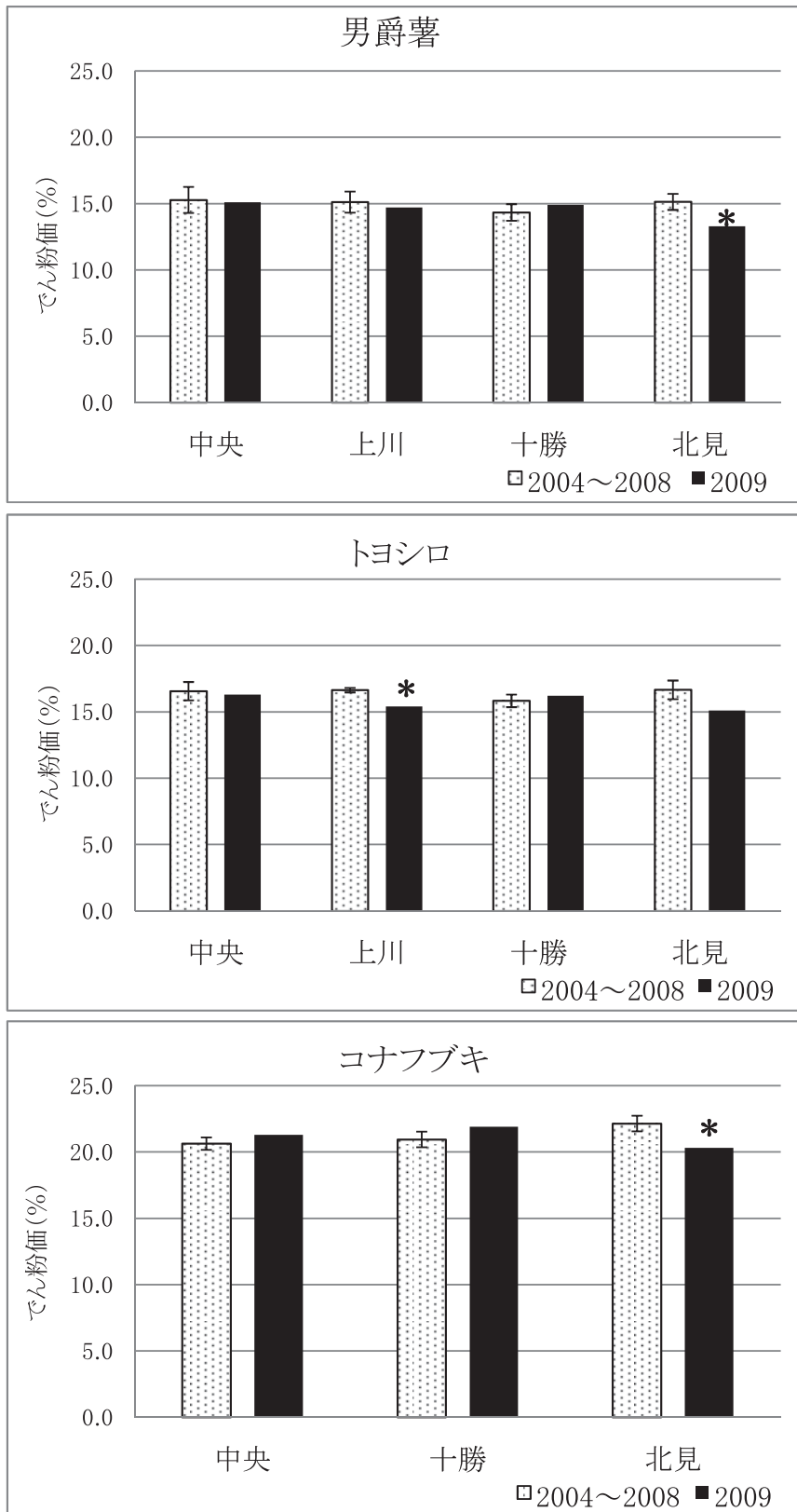
4. 引用文献

- 1) 北海道立十勝農業試験場・北海道立北見農業試験場 (2009) : 平成21年度ばれいしょの生育概況について. でん粉情報. 26, 19-24.
- 2) 岩間和人ほか (1979) : バレイショ根系の品種間差異と地上部の生育および塊茎収量との関係. 日作紀. 48, 403-408.
- 3) 津田昌吾ほか (2002) : 十勝地方におけるばれいしょの生育特性. 北農. 69, 25-29.



2004~2008は平均値、図中のバーは標準偏差を示す。
 * :Thompsonの棄却検定法にて5%水準で棄却される。

図4 道立農業試験場における上いも重の比較 (2004~2009)



2004~2008は平均値、図中のバーは標準偏差を示す。
 * :Thompsonの棄却検定法にて5%水準で棄却される。

図5 道立農業試験場におけるでん粉価の比較 (2004~2009)

IV Potato

Motoyuki MORI

Potato Production and Protection Research Team

Summary

Potato growth at Memuro Research Station in 2009 was as follows. As for foliage growth, the early-maturing variety "Irish Cobbler" grew rapidly after the middle of July, while the late-maturing variety "Hokkaikogane" grew stably as usual. The small root system of the early-maturing variety supposedly reacted quickly to the frequent rainfalls in 2009. "Irish Cobbler" and "Hokkaikogane" showed delayed starch accumulation compared with that in ordinary years (2004-2008). This is because the growth was delayed by low temperature and poor sunshine, resulting in low photosynthetic product levels. Regional yield variation by areas and by fields in Hokkaido was very large in 2009. Common factors for low yields in 2009 were not clear but were thought to be excessive water and late bright epidemics instead of low temperature and sunshine.

V テンサイ

2009年テンサイ湿害の発生実態に関する調査報告

田口和憲¹・丹羽勝久²・岡崎和之¹・清野伸孝²

(1. 北海道農業研究センター 寒地バイオマス研究チーム 2. (株)ズコーシャ)

1. はじめに

2009年のテンサイの作付面積は64,442ha, ha当りの収量は56.6tであり, 病害が多発した2000年に次いで過去10カ年で2番目の低収となった。また, 生育期間全体にわたり気温が低く推移し, 糖分の全道平均は17.8%と史上3番目の高糖分となったが, 総生産量は作付面積の減少も伴い364.9万tと過去10カ年で最低となった(付表)。2009年の低収の要因としては, 全道的に6月から7月にかけて降雨が続き, 芽室研究拠点が存在する十勝地域でも平年比で2倍以上の降水量となったことがあげられる。近隣の多くのテンサイ作付圃場においても, 畦間の滞水が散見され, 生育停滞が起きた。著者らが7月末から8月にかけて実施した十勝地域のテンサイ作付圃場の現地調査でも, 河川近くの排水不良畑などを中心に, 畦間に長期滞水した圃場や湿害に起因した葉の黄化や枯死が散見された(写真1, 2)。

テンサイの湿害は, これまでも1993年(箱山,

1994)や1981年(築尾・杉本, 1983; 花井ら, 1983)に被害報告がまとめられており, 収量の年次間差に基づいた解析や, 被害調査が実施されている。特に, 1981年の調査では, 長沼町を中心とする石狩川下流域の水田転換畑での被害事例について詳細な調査が行われた。しかしながら, テンサイの湿害に関して, 広域にわたり定量的に調査した例はなく, 湿害の発生条件については議論されていない。

リモートセンシング技術は, 少数の調査地点の情報をたよりに, 広域にわたる情報を推定し, 情報を補完する技術である。北海道では, 衛星画像を利用したリモートセンシングが, 米粒蛋白含有率(安積・志賀, 2003), 小麦子実収量および子実タンパク含有率(安積・志賀, 2004)などの把握に役立てられている。テンサイでも, 根重や根中糖分(岡野ら, 1994), 地上部の生育状況(本郷・丹羽, 2009)などを, 同様に衛星画像から精度良く推定できることが確認されている。筆者らは, 衛星リモートセンシ

付表 全道ならびに十勝地域市町村別のテンサイ生産実績(2007~2009年)

市町村名	2009年産てん菜の生産実績				2008年産てん菜の生産実績				2007年産てん菜の生産実績			
	作付面積 (ha)	ha当収量 (t/ha)	生産量 (t)	平均糖分 (%)	作付面積 (ha)	ha当収量 (t/ha)	生産量 (t)	平均糖分 (%)	作付面積 (ha)	ha当収量 (t/ha)	生産量 (t)	平均糖分 (%)
帯広市	3,595	59.5	213,767	18.1	3,691	64.6	238,573	17.6	3,703	69.7	258,083	17.2
音更町	3,191	55.2	176,134	18.1	3,350	65.7	220,067	17.3	3,353	66.8	223,974	16.8
士幌町	2,283	49.9	113,927	18.2	2,365	62.2	147,011	17.5	2,402	64.4	154,726	17.3
上士幌町	827	51.3	42,482	18.0	860	59.5	51,159	17.7	867	62.1	53,884	17.7
鹿追町	1,276	53.1	67,738	17.8	1,305	61.7	80,460	17.0	1,353	63.8	84,647	16.8
新得町	353	52.7	18,625	18.0	375	62.3	23,355	16.8	400	64.3	25,747	16.6
清水町	1,400	54.8	76,775	17.8	1,487	62.0	92,246	17.0	1,524	66.8	101,716	16.6
芽室町	3,303	61.6	203,585	18.0	3,488	68.3	238,022	17.6	3,506	70.5	247,280	17.1
中札内村	1,092	60.4	65,903	18.3	1,151	63.7	73,311	17.8	1,181	69.1	81,634	17.0
更別村	1,650	56.7	93,565	18.2	1,646	65.8	108,333	17.6	1,612	68.7	110,706	17.1
大樹町	503	46.0	23,109	18.2	518	58.7	30,435	17.4	530	62.7	33,221	16.7
広尾町	109	38.3	4,192	18.2	117	51.6	6,034	17.6	111	57.3	6,356	16.9
幕別町	2,495	56.0	139,589	17.8	2,557	67.2	171,737	17.2	2,545	68.4	173,980	17.1
池田町	1,223	48.4	59,160	17.9	1,243	68.8	85,528	17.1	1,288	67.9	87,419	16.8
豊頃町	675	49.2	33,217	18.0	700	61.4	42,977	17.4	744	64.2	47,772	16.8
本別町	1,435	45.8	65,668	18.0	1,451	63.1	91,609	17.5	1,559	60.9	94,987	16.9
足寄町	436	47.0	20,471	17.7	432	63.5	27,448	17.1	452	64.4	29,150	16.7
陸別町	51	50.1	2,558	17.6	46	56.3	2,576	17.3	87	53.5	4,676	16.5
浦幌町	1,719	44.1	75,769	17.8	1,686	61.4	103,480	17.4	1,728	62.5	108,077	16.8
十勝支庁	27,615	54.2	1,496,231	18.0	28,468	64.4	1,834,362	17.4	28,947	66.7	1,928,033	16.9
全道	64,442	56.6	3,649,335	17.8	65,970	64.4	4,248,247	17.4	66,566	64.6	4,297,222	16.7

※(社)北海道てん菜協会:平成19年~平成21年産 てん菜の生産実績より引用



写真1 排水不良により畦間が滞水したテンサイ圃場 (2009. 7. 29、浦幌町)



写真2 長期滞水により枯死株が激発したテンサイ圃場 (2009. 7. 29、浦幌町)

ング技術が、作物の生育情報を把握するのに有効な点に着眼し、衛星画像情報をたよりに2009年の湿害を定量化し、湿害の被害マップを作成するという発想を得た。本報告では、2009年にみられたテンサイの湿害について、十勝地域の主要な土壌型がほとんど分布している幕別町を中心に衛星画像の解析を進め、湿害が発生しやすい地域や圃場についての検討を行った。さらに、同地域にある黒根病が激発する排水不良畑を利用した抵抗性検定を通じて、テンサイ黒根病抵抗性品種を利用した湿害回避に向けた技術対策の可能性についても検討した。

2. 材料および方法

1) 十勝地域におけるテンサイ作付圃場の湿害現地調査

調査は、2009年9月30日および10月1日の2日間に、十勝地域のテンサイ作付圃場で行った。現地調査箇所は、幕別町の7圃場(19地点)、芽室町の7圃場(20地点)、池田町の1圃場(4地点)の合計15圃場(43地点)とした。各調査地点における湿害の発生程度は、健全(湿害の影響が認められない)、少発生(地上部生育は概ね良好であるが、葉の黄化や草丈の低下が確認される)、中発生(明かな葉の黄化と草丈の低下が認められる)、多発生(顕著な葉の黄化と草丈の低下が認められる)の4段階で判定した。調査地点の位置情報は、携帯用GPSモバイルマッパープロ(タレス社)を使って記録した。GPSで測定された調査地点から半径5mの範囲を調査区として、調査区内から無作為にSPAD値(葉緑素含量を示す値)を30反復、草丈を10反復調査した。

なお、SPAD値の測定には葉緑素計SPAD-502(MINOLTA CO.,LTD.)を用いた。さらに、湿害の発生程度が多発生以上の8地点では、調査区内から10個体を抜き取り、洗浄後に黒根病発病調査基準(田口ら、2000)に従って黒根病の発病程度を調査した。

2) 衛星データの取得と画像解析

使用した衛星画像は、2009年9月29日にSPOT 5号(スポットイマージュ社)により撮影された。本衛星画像は、緑、赤および近赤外域の輝度値を10mの解像度で、中間赤外域の輝度値を20mの解像度で得られる。

湿害マップの作成は、2009年度の作付区画がデジタルデータとしてGIS(地理情報システム)に整備されており、かつ利用した衛星画像に雲の影響が少ないJA幕別町の管轄区域を中心に行った。画像データと湿害調査地点を照合するため、画像解析用のソフトウェア(TNTmips(Microimages社))を用いて衛星画像を幾何補正し、各調査地点の輝度値(緑、赤、近赤外)を抽出した。また、抽出した赤および近赤外域の輝度値から、植物生育指標として一般に用いられる演算値(正規化植生指数:NDVI)を、下記の式に基づいて算出した。

$$NDVI = \frac{R_{ir} - R_r}{R_{ir} + R_r} \quad (1)$$

(但し R_{ir} は近赤外域の輝度値、 R_r は赤域の輝度値を示す。)

各輝度値および演算値と圃場実測値との関係を、それぞれ単回帰分析により検討し、相関係数の最も

高いNDVIを用いて、湿害の発生程度を推定した。GISソフトウェア(PC-mapping, マプコン社)上で、前述した幾何補正後の衛星画像と作付区画を重ね、テンサイ作付圃場を特定した。また、テンサイ作付圃場として抽出した区域に作成した推定式を適用し、湿害発生程度を区分する閾値に基づき、湿害マップを作成した。

3) 湿害発生圃場と土壌型の関係

湿害発生圃場と土壌型との解析には、地力保全基本調査において作成された旧幕別町の土壌図を用いた(北海道立中央農業試験場, 1965)。地力保全基本調査の最小図示単位の土壌区で、土壌図のデジタル化を行った。また、作成したテンサイの湿害マップ、デジタル化した土壌図をGISソフトウェア上で重ねることにより、土壌区別にテンサイ作付面積、過湿面積を集計した。湿害発生割合を算出して、テンサイの湿害と土壌型の関係を検討した。なお、土壌型の分類は、北海道中央農業試験場(1993)に準拠した。

4) 黒根病が激発する排水不良畑におけるテンサイ品種の黒根病抵抗性検定

材料は、「モノホマレ」(黒根病抵抗性: 中), 「カブトマル」(やや弱), 「きたさやか」(やや強), 「北海90号」(強), 「アニマート」(中), 「北海98号」, 「北海100号」および「北海101号」である。検定は、まとまった降雨により滞水する排水不良畑で、黒根病の病原菌である *Aphanomyces cochlidioides* の感染ポテンシャルが高い北海道河東郡池田町昭栄の圃場

(以下、汚染圃場) で実施した(写真9, 10)。試験設計は1区面積8.9m²(畦幅66cm, 株間22.5cm)の乱塊法4反復とした。播種(紙筒播種)は4月10日に行い、5月13日に苗を汚染圃場へ移植した。なお、耕種法は現地農家の慣行法に従った。黒根病の発病調査は、2009年10月5日に行った。調査は、収穫した根部を洗浄した後、黒根病の病徴を黒根症状と粗皮症状の2種類に区分し、それぞれの罹病程度に応じた発病調査基準(田口ら, 2000)に従って個体ごとに判定し、平均発病指数を計算した。

3. 結果

1) 十勝地域におけるテンサイ作付圃場の湿害現地調査

現地調査を実施した圃場では、地上部が明かに黄化し、草丈が低い症状が確認された多発生の圃場(写真3, 4, 7)や生育に明かに湿害の影響が認められた中発生の圃場(写真5, 8)から、ほとんど影響がみられない健全圃場(写真6)まで様々であった。一部の圃場では、長期間の滞水に起因してテンサイ株が完全に消えてしまった部分も存在した。しかし、調査を実施した幕別町や芽室町では、圃場の全面にわたり湿害の症状が認められた事例は少なく、圃場の部分的またはスポット状に葉の黄化や草丈の低下が認められる場合が多かった。そこで、圃場内の湿害の発生程度の差についても考慮し、湿害が発生した圃場では、その発生程度と位置に応じて圃場1筆内に複数の調査地点を設けた。その結果、調査した43地点のうち、湿害の発生程度が多発生の地点が13地点、中発生の地点が11地点、少発生の地



写真3 湿害が多発生したテンサイ圃場-1
(2009.9.30、幕別町)



写真4 湿害が多発生したテンサイ圃場-2
(2009.10.1、芽室町)



写真5 湿害が中発生したテンサイ圃場
(2009. 9. 30、幕別町)



写真6 湿害が認められず、健全に生育しているテンサイ圃場 (2009. 10. 1、芽室町)



写真7 湿害が多発生し、顕著に地上部の黄化と草丈の減少がみられる。また、所々に根部腐敗（黒根病）が散見される。(2009. 9. 30、幕別町)



写真8 湿害は中発生だが、地上部の黄化および草丈の減少が認められ、明らかな生育抑制が確認できる。(2009. 9. 30、芽室町)



写真9 現地の黒根病汚染圃場。排水不良畑であり、降雨により畦間に水が滞水している。
(2009. 6. 18撮影、池田町)



写真10 黒根病抵抗性検定の様子。左畦の系統では、根腐れ症状に伴った地上部の症状が現れているが、右畦の系統(高度抵抗性系統)は、健全な生育である。(2009. 6. 1撮影、池田町)

表1 十勝地域におけるテンサイ作付圃場の湿害現地調査結果 (2009)

地点名		GPSの地点名	NDVI	草丈 (cm)	SPAD 値	湿害の被害指数 (草丈×SPAD値)	湿害程度	褐斑病 発病指数	黒根症状 発病指数	粗皮症状 発病指数
相川-1	地点 1	AIKAWA1	0.25	37.6	25.2	947.4	多発生	-	3.6	3.9
	地点 2	A11-2	0.35	60.6	38.0	2300.4	健全	-	-	-
相川-2	地点 1	A12-1	0.26	34.6	30.0	1037.5	多発生	-	3.3	3.1
	地点 2	AIK2-2	0.34	49.6	33.5	1662.4	中発生	-	-	-
	地点 3	AIK2-3	0.38	58.1	43.0	2498.5	健全	-	-	-
明野-1	地点 1	AKE1-1	0.40	72.8	46.2	3363.8	健全	-	-	-
	地点 2	AKE1-2	0.42	74.2	48.2	3575.7	健全	-	-	-
美川-1	地点 1	MIK1-1	0.07	32.5	41.8	1358.4	中発生	-	-	-
美川-1	地点 2	MIK1-2	0.39	59.2	48.3	2859.0	健全	-	-	-
美川-2	地点 1	MIK2-1	0.40	60.6	46.4	2812.6	健全	-	-	-
	地点 2	MIK2-2	0.34	61.1	36.3	2214.9	少発生	-	-	-
	地点 3	MIK2-3	0.26	35.2	30.8	1082.4	多発生	-	1.6	1.7
美川-3	地点 1	MIK3-1	0.30	37.4	31.2	1165.8	多発生	-	3.2	3.6
	地点 2	MIK3-2	0.36	54.8	40.2	2204.2	健全	-	-	-
	地点 3	MIK3-3	0.19	28.6	20.8	595.5	多発生	-	3.5	3.7
	地点 4	MIK3-4	0.37	53.0	41.1	2176.5	健全	-	-	-
千住-1	地点 1	SEN1-1	0.29	51.6	30.7	1582.1	中発生	3.8	-	-
	地点 2	SEN1-2	0.21	46.9	34.5	1615.9	健全～少発生	3.8	-	-
	地点 3	SEN1-3	0.19	55.1	38.1	2101.3	健全	3.8	-	-
芽室-10	地点 1	M10-1	0.33	70.0	41.1	2879.3	健全	2.5	-	-
芽室-11	地点 1	M11-1	0.33	67.5	44.0	2969.3	健全	-	-	-
芽室-12	地点 1	M12-1	0.23	40.7	28.2	1148.3	中発生	-	-	-
	地点 2	M12-2	0.32	65.9	38.8	2557.1	健全	-	-	-
	地点 3	M12-3	0.24	36.2	28.9	1046.7	中発生～多発生	-	-	-
芽室-13	地点 3	M13-3	0.19	38.0	31.2	1187.0	中発生	-	-	-
芽室-13	地点 4	M13-4	0.11	30.7	29.4	903.6	多発生	-	-	-
芽室-13	地点 5	M13-5	0.33	63.7	41.7	2659.3	健全	-	-	-
芽室-15	地点 1	M15-1	0.23	40.3	31.9	1285.3	中発生	-	-	-
	地点 2	M15-2	0.23	38.8	28.6	1109.3	多発生	-	-	-
	地点 3	M15-3	0.33	70.6	51.1	3609.5	健全	-	-	-
芽室-16	地点 1	MA-1	0.20	39.5	34.9	1377.2	多発生	-	2.8	3.0
	地点 2	MA-2	0.22	41.2	31.9	1314.0	中発生	3.5	-	-
	地点 3	MA-3	0.24	60.7	39.2	2380.7	少発生	3.0	-	-
	地点 4	MA-4	0.20	51.7	27.5	1423.1	中発生	3.5	-	-
芽室-17	地点 1	MB-1	0.27	51.7	33.6	1735.7	中発生	4.0	-	-
	地点 2	MB-2	0.31	42.4	29.5	1249.1	中発生～多発生	3.5	-	-
	地点 3	MB-3	0.36	66.0	43.2	2851.0	健全	-	-	-
	地点 4	MB-4	0.33	48.5	32.4	1571.7	中発生	3.0	-	-
	地点 5	MB-5	0.13	31.3	29.0	907.9	多発生	3.0	-	-
池田-1	地点 2	IKEDA2	0.22	41.0	29.0	1187.6	中発生～多発生	3.0	1.8	2.2
	地点 3	IKEDA3	0.38	64.2	45.0	2886.6	健全	-	-	-
	地点 4	IKEDA4	0.14	41.6	28.4	1182.4	多発生	3.0	4.0	3.6
	地点 5	IKEDA5	0.27	40.0	24.8	992.9	中発生	3.0	-	-

点が3地点および健全が16地点であった(表1)。また、湿害が多発生した地点では、地上部の形質評価のなかで黒根病に起因した根部腐敗と判断された個体が散見された(写真7)。そこで、このうち8地点から、調査サンプルの抜き取りを行い、黒根病の発病程度を調査した。その結果、各地点の調査サンプルの黒根症状の発病指数は、1.3から4.0まであり、黒根病の発生が確認された(表1)。8地点の平均発病指数は2.9と高く、多発生の地点では黒根

病による腐敗根が多く発生していた(写真11)。

テンサイの湿害の典型的な地上部症状は、葉の黄化および草丈の低下であるが、葉の黄化や草丈の低下には、湿害の他にも様々な原因が知られている。このため、湿害の発生程度と草丈との間および湿害の発生程度とSPAD値との間でも、有意な相関関係が確認されたが、2つの症状が同時に反映されるように草丈×SPAD値を湿害の被害指数として定量化をすることとした。



A 幕別町の現地圃場から抜き取ったサンプル



B 池田町の現地圃場から抜き取ったサンプル

写真11 現地圃場における多発生の地点から、抜き取ったテンサイサンプルの黒根病の発病程度。
(2009. 10. 5撮影)

湿害の発生程度と草丈×SPAD値との関係を解析した結果、草丈×SPAD値は湿害の程度が少ないほど値が大きく、健全および少発生と中発生の間には1%水準で有意な差がみられた(図1)。一方、中発生と多発生の間には有意差が得られなかった。よって、草丈×SPAD値を指標とし、湿害の発生程度を健全および少発生と中～多発生の2区分に区別した。また、その閾値は、各区分の標準偏差の違いを考慮し、下記の式から求めた(2)式。

$$\text{閾値} = Sav - cSsd = Mav + cMsd \quad (2)$$

(但し、 Mav は湿害中発生の地点の平均値、 Msd は湿害中発生の地点の標準偏差、 Sav は健全および少発生の地点の平均値、 Ssd は健全および少発生の地点の標準偏差、 C は定数を示す。)

なお定数 C は、下記の式より求めた(3)式。

$$C = \frac{(Sav - Mav)}{(Ssd + Msd)} \quad (3)$$

以上の結果、湿害の発生程度において少発生と中～多発生とを区分するための湿害の被害指数の閾値は1971と算出され、本数値を湿害の発生を判断する基準値とした。

2) 衛星データの取得と画像解析

9月30日に撮影された衛星画像は、芽室町周辺には雲がかかっていたが、幕別町および池田町では雲

の影響が少なかった(図2)。各衛星画像データと湿害の被害指数の単回帰分析の結果、赤域の輝度値では1%水準で有意な負の相関関係($r = -0.46$)が、近赤外域の輝度値およびNDVIでは1%水準で有意な正の相関関係(それぞれ、 $r = 0.71$, $r = 0.75$)が認められた。

そこで、湿害の被害指数の推定式には、相関係数の最も高いNDVIを説明変数として用いた(図3)。JA幕別の管轄区域のテンサイ圃場を対象に、NDVIを用いた推定式から、湿害の被害指数に基づくマップを作成した。さらに、式(2)より決定した閾値1971により、湿害の有無を判定し、同区域の湿害マップを作成した(図4)。

3) 湿害と土壌型の関係

JA幕別管轄区域には、十勝地域にある土壌のうち湿性土壌に区分される灰色低地土、泥炭土、多湿黒ボク土および灰色台地土、乾性土壌として区分される褐色低地土、黒ボク土および褐色森林土が分布している(北海道立中央農業試験場, 1965, 1993)。そこで、土壌区を乾性土壌、湿性土壌に再編成し、各土壌別に湿害の発生割合(全テンサイ作付面積に対する湿害の発生程度が中発生～多発生に区分された面積の割合)を算出したところ、湿性土壌の湿害の発生割合は33.5%、乾性土壌の発生割合は15.3%と約2倍以上も湿性土壌での発生割合が高かった。さらに、各土壌群で湿害の発生割合を検討したところ、湿性土壌の中でも、湿害の発生割合が20%未満

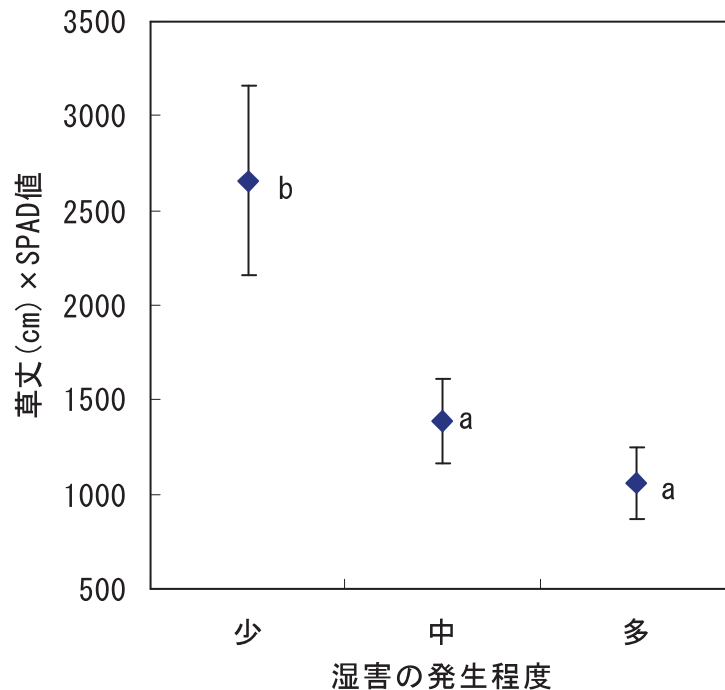


図1 湿害発生程度と草丈×SPAD値（湿害の被害指数）の関係

（エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Bonferroniの検定により、1%水準で有意差があることを示す。湿害発生程度は、少発生および健全が $n=19$ 、中発生が $n=11$ 、多発生が $n=13$ である。）

と低い土壌群（灰色台地土）、乾性土壌の中でも湿害の発生割合が約40%と高い土壌群（褐色森林土）が見られた（図5）。一方、泥炭土の湿害の発生割合は60%以上と極めて高かった。

北海道立中央農業試験場（1993）によると、対象区域の中でも褐色森林土に分類される土壌区は茂発谷および依田中央の両区であり、それらの土壌断面形態は、いずれも浅部から礫層が出現する特徴を有している（北海道立中央農業試験場、1965）。乾性土壌でも、下層に礫層があり、有効土層が制限されるタイプでは、多雨年の養分流出等を原因として、有効土層に富む乾性土壌よりも根重が著しく減少することが示されている（Niwa et al. 2008）。つまり、多雨年では、湿性土壌の過湿と共に、浅礫土壌の養分流出による生育抑制の発生が懸念される。そこで、乾性土壌に区分される土壌区を礫層による有効土層制限の有無で分類し、湿害と土壌型の関係について再検討した。その結果、乾性土壌の中でも有効土層が制限されていたのは、褐色森林土の2土壌区と褐色低地土の全7土壌区うちの2土壌区であり、それらの土壌では、35%以上の面積が湿害と判定された（図6）。

4) 黒根病抵抗性の品種・系統間差

黒根病抵抗性検定では、黒根症状の平均発病指数は1.9、粗皮症状の平均発病指数は2.4であり、黒根病の発生程度は多発生と判断された。両形質には、明らかな品種間差が認められ、各品種・系統の発病指数に基づく黒根病抵抗性の検定が可能であった（表2）。黒根症状の発病指数では、「カプトマル」、「アニマート」がそれぞれ3.6、3.5と高く、次いで「モノホマレ」、「北海98号」が2.4、2.3、「きたさやか」が1.2、「北海100号」が1.0、「北海101号」が0.8、「北海90号」が0.6であった。一方、粗皮症状の発病指数は、「カプトマル」が4.3と高く、次いで「アニマート」が3.8、「モノホマレ」が3.4、「北海98号」が3.3、「きたさやか」が1.2、「北海100号」および「北海101号」が1.1、「北海90号」が0.7であった。これら検定した品種のうち、「北海90号」や「北海101号」は、供試個体の中に腐敗根がほとんどなく、高い抵抗性の発現が確認された（写真12）。

4. 考察

テンサイは、畑作物の中でも過湿に弱い作物とされ（花井ら、1983）、圃場の過湿と高温などの条件

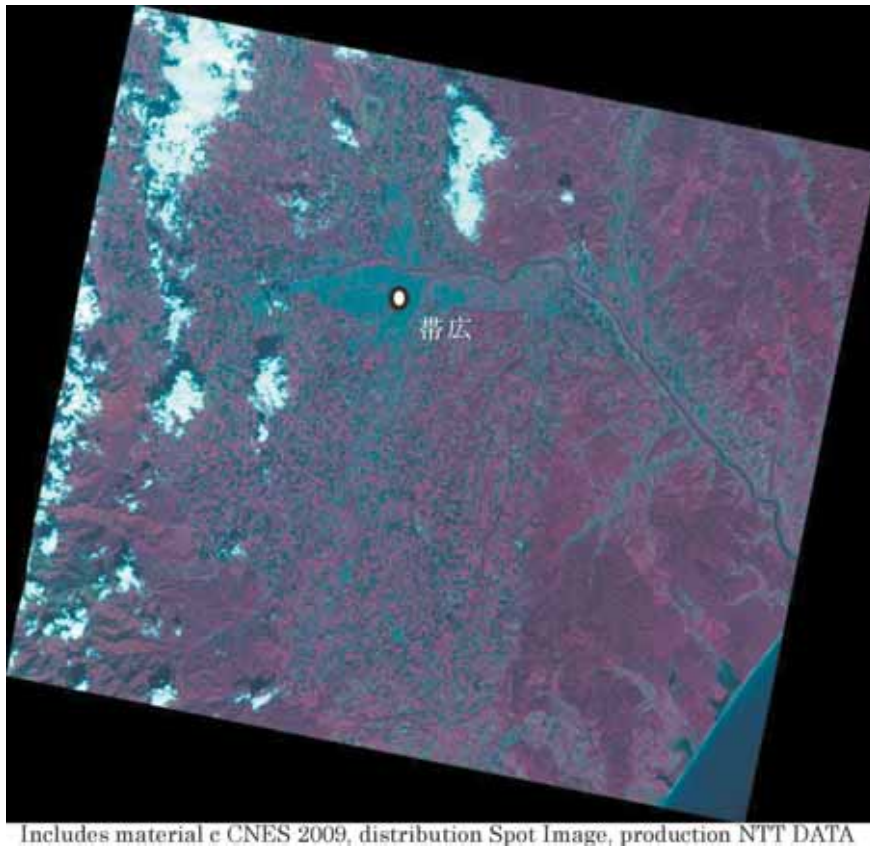


図2 2009年9月30日にSPOT5号（スポットイマージュ社）により撮影された十勝地域の衛星画像

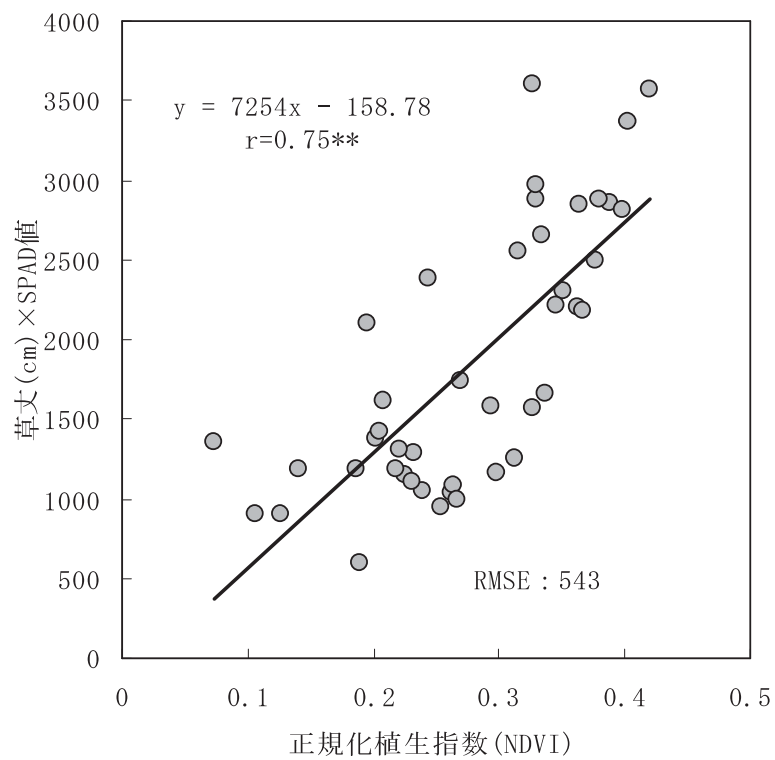


図3 正規化植生指数と湿害の被害指数（草丈×SPAD値）の関係
 $**p < 0.01$

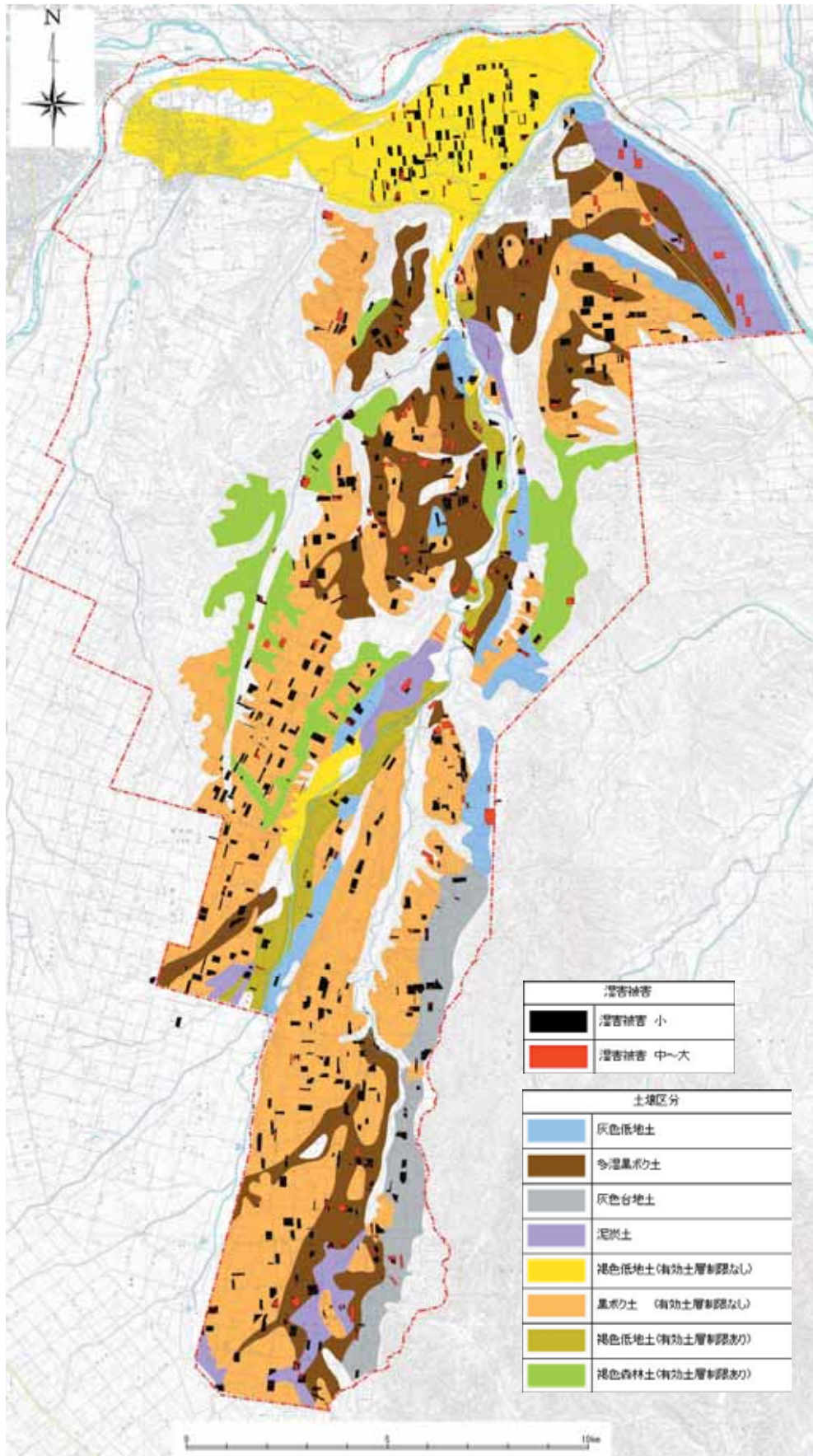


図4 JA幕別管轄区域における湿害および土壌マップ

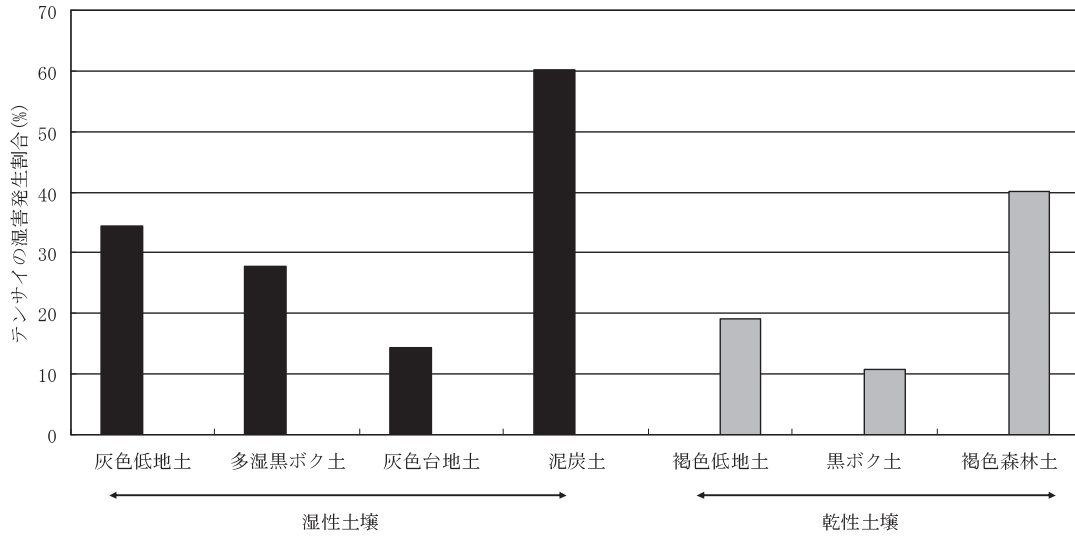


図5 土壌型別のTenサイの湿害発生割合

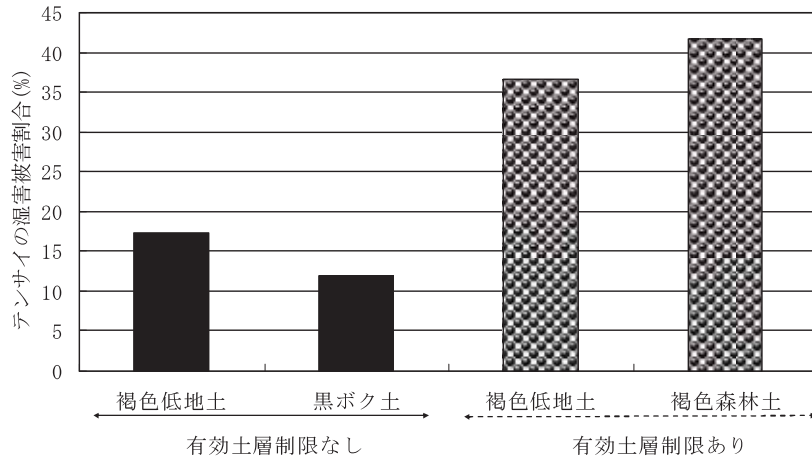


図6 乾性土壌における有効土層別のTenサイの湿害発生割合

表2 黒根病汚染圃場における黒根病抵抗性検定の結果 (2009)

品種名	黒根症状		粗皮症状	
	0(無)~5(甚)		0(無)~5(甚)	
モノホマレ	2.4	b	3.4	a
カブトマル	3.6	a	4.3	a
きたさやか	1.2	c	1.2	b
北海90号	0.6	c	0.7	b
北海98号	2.3	b	3.3	a
北海100号	1.0	c	1.1	b
北海101号	0.8	c	1.1	b
アニマート	3.5	a	3.8	a
平均	1.9		2.4	
F-Test	**		**	
L.S.D.(5%)	0.5		0.8	
L.S.D.(1%)	0.7		1.2	

1) Tukey (1953) の方法による多重比較を行い、異なるアルファベット間には有意差があることを示す。

2) '**' は、1%水準で有意であることを示す。



A 「モノホマレ」(黒根病抵抗性「中」)



B 「カブトマル」(黒根病抵抗性「やや弱」)



C 「北海90号」(黒根病抵抗性「強」)



D 「北海101号」(育成途中)

写真12 2009年に黒根病汚染圃場で検定した各品種・系統の黒根病抵抗性の品種間差 (2009. 10. 5撮影)

が揃うと黒根病の発生が助長される(築尾・杉本, 1983)。しかし, 2009年の根腐病(根腐病, 黒根病を含む)の発生面積は8,466haにとどまり, 高温・多雨年で多発生した1999年の17,180haや2000年の20,664haに比べて少なかった。一方, 本年はテンサイ総生産量が少なかったものの, 糖分は史上3番目に高かった。これは, 生育期間全般にわたり低温が続き, 根重の増加は抑制されたが, 褐斑病などの発生が少なく, 糖分はむしろ高くなったものと考えられる。また, 2009年の糖分が高かった原因には, 根重と根中糖分の間に認められる負の相関関係(津田・細川, 1969)も関連したものと考えられた。テンサイの湿害に関する調査報告では, 1981年および1993年も2009年と同様に冷湿害年であり, 収量に関する考察には, 本年と同様に根重が少なく糖分が高かったことが報告されている(箱山ら, 1994; 花井ら,

1983)。

付表には, 2007~2009年の十勝地域にある町村別のテンサイの生産実績を示したが, 2009年のha当りの平均収量は54.2tであり, 2008年の64.4tならびに2007年の66.7tよりも2割近く低収だった。また, 2009年には, 芽室町の61.6tから広尾町の38.3tまで, 前2年と比較して地域間差が大きく認められた。特に低収であった広尾町, 浦幌町, 大樹町などの生産基盤には, 十勝川の河川流域に広がる湿性土壌が多く, 顕著な収量差に反映されたことが疑われた。そこで, 2009年に十勝地域で発生したテンサイの湿害の被害状況の把握と詳細な要因分析を行い, テンサイの湿害回避に向けて技術開発の指針を得ることは有意義と考え, 同地域の代表的な土壌型の大半が分布する幕別町を中心に, 湿害の発生パターンについて検討することとした。

現地調査は、収穫期前の9月末から2日間行った。特に湿害が多発生した地点では、腐敗根の発生が顕著に認められ、黒根病の発生が助長されたことが確かめられた。湿害に伴いテンサイの地上部にみられる症状の特徴は、葉の黄化と草丈の低下であるが、葉の黄化についてはSPAD値、草丈の低下については草丈の測定により定量化することができた。両測定形質ともにNDVIとの間には有意な相関関係が認められたが、葉の黄化には、そう根病や西部萎黄病、草丈の低下には褐斑病など、他の要因に起因した変異も画像情報へ含まれることが想定された。そこで、両形質が同時に反映されるように草丈×SPAD値を湿害の被害指数とし、他の要因による影響を排除できるようにした。なお、既往の報告でも、本郷・丹羽(2009)は衛星画像データと草丈×SPAD値を利用し、この指標から根重の多少を推定している。

衛星画像からマップを作成する際の図示区分数について、安積・志賀(2003)は、作成した推定式における平方平均二乗誤差(RMSE)から算出することを提案している。湿害マップに利用したNDVIから湿害の被害指数を推定した式では、RMSEは543となり、対象地域における湿害の被害指数の最大値を3500、対象地域における湿害の被害指数の最小値を500と仮定すると、図示区分は2.8と算出される。すなわち、推定式からマップ化を行った場合には、図示は3区分程度が妥当である。作成した湿害マップ(図4)は、湿害発生程度を健全および少発生と中発生～多発生の2区分で図化を行ったため、推定式は図化に十分な精度であったものと判断される。

中発生と多発生の区別が難しかった理由には、調査地点の多くの圃場において、目視可能な湿害の発生範囲が半径20mよりも小さい場合が多かったこと、原料テンサイの生産圃場では多様な品種や栽培条件の下で栽培されていることなどにより、画像情報に誤差となる情報が多く含まれたことも原因と考えられた。なお、2009年の十勝地域で確認された葉の黄化と草丈の低下の原因の大半は湿害に起因したものと考えられたが、湿害マップの中には、西部萎黄病や褐斑病など他の要因に起因した地上部症状に対し湿害と判定された擬陽性の圃場も含まれた可能性は否定できないので、注意が必要である。

湿害マップを作成する対象地域としたJA幕別管轄区域では、十勝地域の耕地の土壌群のうち98%の種類があり(関谷ら, 2010)、湿害と土壌型の関係

を検討するのに適切と考えられた。湿害と土壌型の関係を見ると、乾性土壌の湿害発生割合が湿性土壌よりも低い結果を示したが、乾性土壌の中でも、褐色森林土の湿害発生割合は、湿性土壌と同等であったことから、滞水だけでなく肥料の流亡なども湿害の被害の大きな要因と考えられた。今後、有効土層制限土層の区域で湿害と認識された理由を継続調査により明らかにすることが重要である。一方、湿性土壌の中でも湿害発生割合は土壌群で異なり、泥炭土では60%以上と他土壌群に比べて著しく高い値を示した。北海道十勝支庁農業振興部(2005)によると、泥炭土の分布エリアでは、1970～2002年にかけて80%以上の圃場で暗渠排水が施工されており、対象区域の中でも暗渠排水の施工率の高い区域である。このことから、泥炭土の分布エリアでは、暗渠排水施工後においても湿害の影響が大きく、排水改良は未だ不十分と考えられた。暗渠排水施工後においても、一部の土壌型で排水不良が発生する問題は、十勝畑作地帯の課題の一つ(保井ら, 2000; 菊地・丹羽, 2002)であり、本調査結果からも再認識することとなった。

以上のように、衛星画像データを利用することで、2009年の十勝地域において幕別町を対象に湿害マップを作成することができた。この中で、湿性土壌の中で未だに排水不良の影響が著しい土壌が浮き彫りとなり、今後の効果的な排水改良計画の立案に有益な情報が得られたと考えられる。一方、一般的な品種では腐敗根が多発するような状況下でも、腐敗根がほとんど発生しない品種「北海90号」や「北海101号」(写真6)なども育成されている。このような過湿環境に強い品種を湿害の発生が懸念される圃場へ投入することは、テンサイの湿害の被害軽減対策のひとつとして期待できる。

5. 摘要

2009年は、各地のテンサイ作付圃場で湿害が発生し、産糖量が低下した大きな原因となった。そこで、十勝地域においてテンサイ湿害の現地調査を行い、衛星画像を活用して、同地域における湿害の定量化を試みたところ、以下のような知見が得られた。

1. 十勝地域のテンサイ作付圃場の一部には、畦間の長期滞水や黒根病の発生などが確認され、甚大な被害が確認された。
2. 湿害の発生程度は、地上部の黄化と草丈の低下

を指標として定量化でき、草丈×SPAD値を湿害の被害指数とすることで湿害の発生程度の多少を判別できた。

3. 衛星情報のNDVIから、テンサイの草丈×SPAD値を推定し、湿害が発生したテンサイ圃場を示す湿害マップを作成した。
4. テンサイの湿害マップを基に、幕別町を中心として土壌型別に湿害の発生割合を調べたところ、湿性土壌が約30%、乾性土壌が約15%と、湿性土壌での湿害の発生割合が2倍以上も高かった。
5. 乾性土壌では、有効土層が浅い浅礫土壌において湿害の発生が多く、養分流出による生育抑制が疑われた。
6. 暗渠施工区域においても、泥炭土では排水の改善化が図られていなかった。
7. 一般的な品種が腐敗根を多発するような条件でも、腐敗根がほとんど発生しない品種が育成されており、品種による被害軽減対策も期待できる。

6. 引用文献

- 1) 安積大治, 志賀弘行 (2003): 水稻成熟期のSPOT/HRVデータによる米粒蛋白含有率の推定. 日本リモートセンシング学会誌. 23, 451-457.
- 2) 安積大治, 志賀弘行 (2004): 衛星リモートセンシングによる秋まき小麦生育区分図の作成技術. 土肥誌. 75, 103-107.
- 3) 築尾嘉章, 杉本利哉 (1983): テンサイ黒根病の発生実態調査. 北海道農試研究資料. 22, 35-39.
- 4) 箱山晋 (1994): 北海道における平成5年冷湿害の解析-畑作編- てんさいの被害実態及び対策. 北海道農業試験場研究資料. 52, 23-28.
- 5) 花井雄次, 藤田勇, 堅木育雄, 建部雅子 (1983): 1981年大雨によるテンサイの被害. 北海道農業試験場研究資料. 22, 25-33.
- 6) 北海道立中央農業試験場 (1965): 十勝中部地域幕別町. 地力保全基本調査成績書. 1-87.
- 7) 北海道立中央農業試験場 (1993): 北海道土壌区一覧. 北海道立農試資料. 21, 1-123.
- 8) 北海道てん菜協会 (2008): 平成19年てん菜生産実績. 日孔社. 札幌.
- 9) 北海道てん菜協会 (2009): 平成20年てん菜生産実績. 日孔社. 札幌.
- 10) 北海道てん菜協会 (2010): 平成21年てん菜生産実績. 日孔社. 札幌.
- 11) 北海道十勝支庁農業振興部 (2005): てん菜の収量, 糖分, 糖量の推移から見た土地基盤整備事業の効果. 1-212.
- 12) 本郷千春, 丹羽勝久 (2009): 衛星、気象・土壌データを活用したてん菜の根収量予測. 北農. 76, 466-472.
- 13) 菊地晃二, 丹羽勝久 (2002): 北海道を例とした積雪寒冷畑作地帯における農地整備. 農土誌. 70, 313-316.
- 14) Niwa K., Yokobori J., Seino N., Kikuchi K. and Hongo C. (2008): Effect of soil types on the time-course of changes in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) productivity in Tokachi District Hokkaido, Japan. *Soil Sc. Plant Nur.*, 54, 928-937.
- 15) 岡野千春, 福原道一, 西宗 昭, 嶋田典司, 渡辺幸雄 (1994): ランドサットTMデータによる収穫期におけるテンサイの糖分・根重の推定と生産高の評価事例. システム農学. 10, 11-20.
- 16) 関谷長昭, 高階史章, 木村園子ドロテア, 波多野隆介 (2010): 北海道十勝管内耕地土壌の炭素賦存量とその動態. 土肥誌. 81, 224-233.
- 17) 田口和憲, 大湯直樹, 高橋宙之, 藏之内利和, 川勝正夫, 田中征勝 (2000): テンサイ黒根病抵抗性品種の育成 第1報 現地発病圃場における黒根病抵抗性の検定. てん菜研究会報. 42, 52-58.
- 18) 津田周弥, 細川定治 (1969): てん菜の根重と糖分の間の負の相関関係に関する育種学的研究. 北大農学部紀要. 7, 20-28.
- 19) 保井聖一, 丹羽勝久, 大淵清志, 菊地晃二 (2000): 十勝管内における湿性畑土壌の物理的特徴と作物生育 第1報 多湿黒ボク土の物理性とテンサイ根系. 土壌の物理性. 85, 31-40.

V Suger Beet

An investigation of wet-injury of suger beets in 2009

Kazunori TAGUCHI¹, Katsuhisa NIWA², Kazuyuki OKAZAKI¹, and Nobutaka SEINO²

1.Biomass Research Team (Hokkaido Region) 2.Inc.Zukosha

Summary

Severe wet injury of sugar beet occurred in 2009 and resulted in a dramatic decrease in the production of sugar. A survey of wet injury in the Tokachi region by satellite remote sensing was conducted, and the following findings were obtained.

1. Reduced vigor and Aphanomyces root rot due to long-term water flooding were observed in some of the beet fields, and substantial damage was confirmed.
2. The degree of wet injury could be quantified by the extent of yellowing (SPAD value) and plant height, and the index "plant height × SPAD value" was shown to be an indicator of wet injury.
3. The damage index value could be estimated from NDVI calculated by satellite image data, and a wet-injury map of sugar beet areas was created for the Tokachi area in 2009.
4. Based on the wet injury map, the proportions of wet-injured fields with different soil types in the soil map of Makubetsu-cho were compared. The results showed that wet injury in poorly drained soils occurred in about 30% of the area, and the ratio was about 15% in well-drained areas. The proportion of wet injury in poorly drained soils was twice that in well-drained soils.
5. In well-drained soils with a shallow effective soil layer, it was thought that much of the wet injury occurred due to growth suppression caused by leaching of fertilizer from the rooting zone.
6. Drainage installations by pipe drains were not effective in peat soils.
7. Some commonly grown cultivars were seriously damaged by Aphanomyces rot root, while some varieties suffered almost no root rot. It may be possible to reduce wet injury by introducing varieties resistant to such conditions.

VI サイレージ用トウモロコシ

2009年のトウモロコシ作況不良の実態調査と
衛星リモートセンシングを組合わせたGIS解析による要因解析（根釧地域）

牧野 司

北海道立総合研究機構 根釧農業試験場 研究部 飼料環境グループ

1. はじめに

2009年は5月下旬以降の断続的な低温・寡照および継続的な多雨が多く、作物に深刻な被害をもたらした。近年、「ぱぴりか」等の極早生品種を中心に栽培面積が伸びている根釧地域の飼料用トウモロコシも例外ではなく、各地で生育遅延等の状況が認められた。

このような低温・寡照・多雨条件下での飼料用トウモロコシの生育データは今後の営農指導の参考とするため非常に貴重である。そこで、まず根釧農業試験場内のトウモロコシ生育状況データおよび気象データを整理した。

飼料用トウモロコシ畑は一筆の面積も大きく、かつ広範囲に分散して存在するためポイント調査では収集できるデータ数等に限界がある。生育状況データを効率よく取得する方法の一つとして衛星リモートセンシング技術の適用が考えられるが、この技術により飼料用トウモロコシの生育状況データを把握した例は少ない。そこで、衛星リモートセンシング技術を用いた飼料用トウモロコシの生育状況の把握方法を検討し、生育を面的に捉えた圃場ごとの生育データマップの作成を試みた。

また、同一気象条件下でも生育遅延の程度は、圃場間あるいは圃場内でばらつく様子が観察されており、気象条件以外に生育に影響を与える要因があると考えられる。そこで、衛星リモートセンシング技術で面的に把握した生育状況データと地形および土壌水分データを地理情報システム（geographic information system : GIS）技術を用いて重ね合わせ、低温・寡照・多雨条件が飼料用トウモロコシの生育に影響を与える要因を検討した。

なお、本調査は農研機構運営交付金による委託研究「2009年の気象災害がトウモロコシへ及ぼす影響の実態調査」（北農研担当：濃沼圭一寒地飼料作物育種研究チーム上席研究員）により実施した。

2. 根釧地域における2009年の気象およびトウモロコシの生育状況

1) 中標津における気象概要

図1に根釧農業試験場が所在する中標津における2009年5月から10月の平均気温、降水量、日照時間の推移を示した。トウモロコシの生育期間である5月下旬から10月上旬の気象は次の通りであった。

平均気温は6月下旬および9月下旬から10月上旬

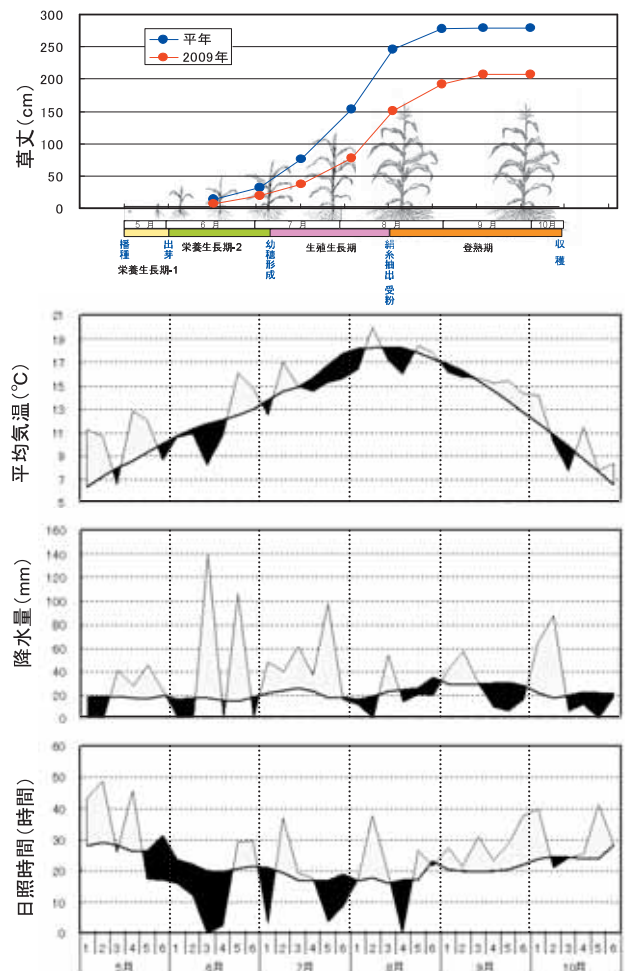


図1 中標津における2009年5月から10月の半旬ごとの気象推移とトウモロコシの生育状況

表1 中標津の気象データ積算値

	気象データ積算値		
	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	日照時間 (時間)
2009年	2076	1052	575
平年	2073	629	580
平年差	3	423	△ 5
平年比(%)	100	167	99

注1) 気象データ積算値は5月20日～10月10日の積算値。

注2) △は減を表す。

で平年に比べ高く、6月中旬、7月中旬から8月中旬で平年に比べ低く、特に6月中旬で極めて低かった。

降水量は6月上旬、8月上旬および9月中旬から9月下旬で平年に比べて少なく、5月下旬、8月中旬、9月上旬で多く、6月中旬から7月下旬および10月上旬で極めて多かった。

日照時間は6月下旬、7月中旬、8月上旬および8月下旬から10月上旬で平年より多く、5月下旬から6月中旬、7月下旬および8月中旬で平年より少なく、特に6月中旬で極めて少なかった。

表1に中標津における2009年5月20日から10月10日までの気象データ積算値およびその平年値を示した。平均気温積算値は2076°Cで平年比100%、日照時間積算値は575時間で平年比99%とそれぞれ平年

並であった。降水量積算値は1052mmで平年比167%と極めて多かった。

2009年のトウモロコシ生育期間の気象は断続的な低温・寡照と継続的な多雨が特徴で、総じると気温、日照時間は平年並、降水量は極めて多い年であった。特に栄養生長期-2に当たる5月下旬から6月中旬、生殖生長期に当たる7月下旬の寡照、多雨が特徴的であった。

2) 根釧農業試験場作況圃場におけるトウモロコシ生育状況

表2に、2009年の作況調査結果を示した。播種期は平年より1日遅く、出芽期は同2日遅かった。6月中旬以降も低温多雨傾向であったため、各月の草丈は平年より極めて劣り、絹糸抽出期は平年より11日遅かった。また、継続的な降雨のため除草剤散布が適期に行えず雑草が繁茂したことも特徴的であった。収穫期は、平年より9日遅かった。なお、10月9日に台風18号が接近し、試験区の一部で倒伏、折損が発生した。また、すす紋病が多発した。収穫期まで降霜は観察されなかったが、収穫期直前には茎葉が白く枯れ上がっていた。

乾物収量は茎葉、雌穂とも平年より大幅に少なく、総重では平年より560kg少なかった。収穫期熟度は平年を上回り、総体の乾物率および乾物中TDN率は平年をやや上回ったものの、TDN収量は平年比53%の448kg/10aで2009年の作況は不良となった。

表2 根釧農業試験場のトウモロコシ作況圃場における2009年の生育および収量

品種名	播種期 (月日)	出芽期 (月日)	雄穂抽出期 (月日)	絹糸抽出期 (月日)	草丈(各月20日,cm)				葉数(各月20日,枚)			
					6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月
本年	5/22	6/6	8/18	8/25	10	43	127	169	2.5	7.5	11.6	11.9
ばびりか 平年	5/21	6/4	8/7	8/14	20	87	234	237	4.0	10.3	13.2	13.2
比較	1	2	11	11	△ 10	△ 44	△ 107	△ 68	△ 1.5	△ 2.8	△ 1.6	△ 1.3

品種名	収穫期 (月日)	倒伏 (%)	収穫期 折損 (%)	収穫期 すす紋病 罹病程度 (1-9:甚)	生草収量 (kg/10a)			乾物収量 (kg/10a)			総体の 乾物率 (%)	TDN 収量 (kg/10a)	乾物中 TDN含量 (%)	収穫期 熟度
					茎葉	雌穂	総重	茎葉	雌穂	総重				
本年	10/14	2.6	1.1	5.3	1,224	926	2,150	262	348	610	28.3	448	73.5	黄熟初期
ばびりか 平年	10/5	13.3	7.6	1.8	2,794	1,422	4,217	550	620	1,170	26.9	847	72.3	糊熟後期
比較	9	△ 10.6	△ 6.4	3.5	△ 1,570	△ 496	△ 2,066	△ 288	△ 272	△ 560	1.4	△ 399	1.2	

注1) 根釧農試定期作況圃場における調査結果に基づき、調査地点における平年との比較を示したもので、根釧地域全体の作況を表現しているものではない。

注2) 「平年」は前7カ年のうち豊凶の2006年および2007年を除いた5ヶ年の平均値である。ただし草丈、出葉数については前5カ年分のデータしかないため、全5カ年の平均値を用いた。また、抽雄期については前4カ年分のデータしかないため、全4カ年の平均値を用いた。

注3) TDN収量は新得方式(茎葉乾物収量×0.582+雌穂乾物収量×0.85)にて算出した推定値。

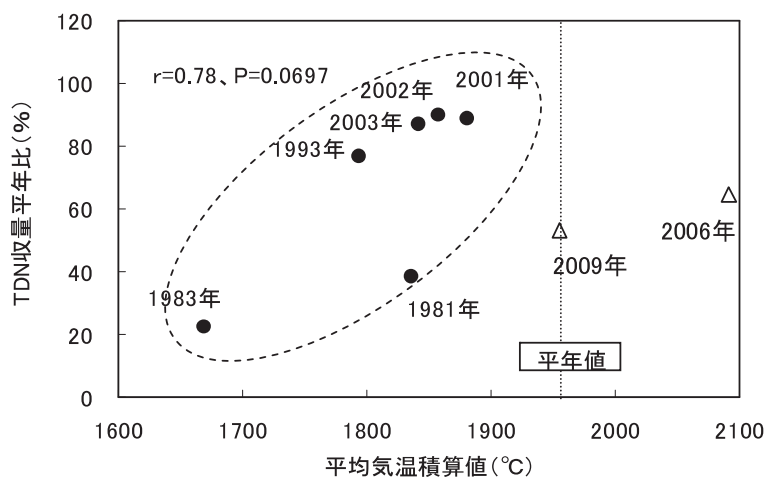
注4) △は減を表す。

表3 根釧農業試験場定期作況におけるトウモロコシ作況不良年のトウモロコシTDN収量および気象データ積算値

品種	TDN収量		気象データ積算値		
	当年 (kg/10a)	平年比 (%)	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	日照時間 (時間)
1981年 ハイゲンワセ・ワセホマレ	351	38	1836	815	669
1983年 ワセホマレ	165	22	1669	545	649
1993年 ワセホマレ・ヒノデワセ	516	77	1794	602	386
2001年 ワセホマレ・ヒノデワセ	699	88	1882	480	462
2002年 エマ	693	90	1857	642	405
2003年 エマ	644	87	1843	782	439
2006年 エマ	524	65	2091	591	495
2009年 ぱぴりか	448	53	1955	900	514
平年			1960	590	532

注1) TDN収量は新得方式(茎葉乾物収量×0.582+雌穂乾物収量×0.85)にて算出した推定値。

注2) 気象データ積算値は5月20日～9月30日の積算値。



注) 相関係数は、平均気温積算値が平年並以上の2006年、2009年データを除いて作成

図2 作況不良年におけるトウモロコシTDN収量と平均気温積算値との関係

3) 過去の作況不良年との比較

表3に根釧農試定期作況においてトウモロコシが不良と判断された年のトウモロコシTDN収量と気象データ積算値を抽出して示した。前述のように2009年は平均気温積算値が平年並であるにもかかわらず、作況が不良となった年であるが、同様の傾向を示したのは他に2006年のみで、残りの6ヶ年については平均気温の積算値が平年より明らかに低下していた。次いで、表3に示した作況不良年のTDN収量平年比と平均気温積算値との関係を図2に示した。これを見ると2006年、2009年を除くと平均気温積算値とTDN収量平年比との間に正の相関関係があることが分かった($r=0.78$, $P=0.0697$)。そこで、図3に2006

年について5月から10月の平均気温、降水量、日照時間の推移を示した。図1と図3を比較すると6月上中旬および7月中下旬の低温・寡照が両年に共通し特徴的であった。

更に、積算値が平年比167%と極めて多かった2009年の降水量に注目すると、2006年は平年並であったが2009年は作況不良年の中でも最も降水量が多いことも特徴的であった。

これらのことを合わせて考えると、2009年は単純な低温年ではなく、トウモロコシの生育に影響を与えやすい栄養生長期(6月上中旬)および生殖生長期(7月中下旬)の低温・寡照がトウモロコシの生育を停滞させ、さらに生育期間全体にわたる多雨が

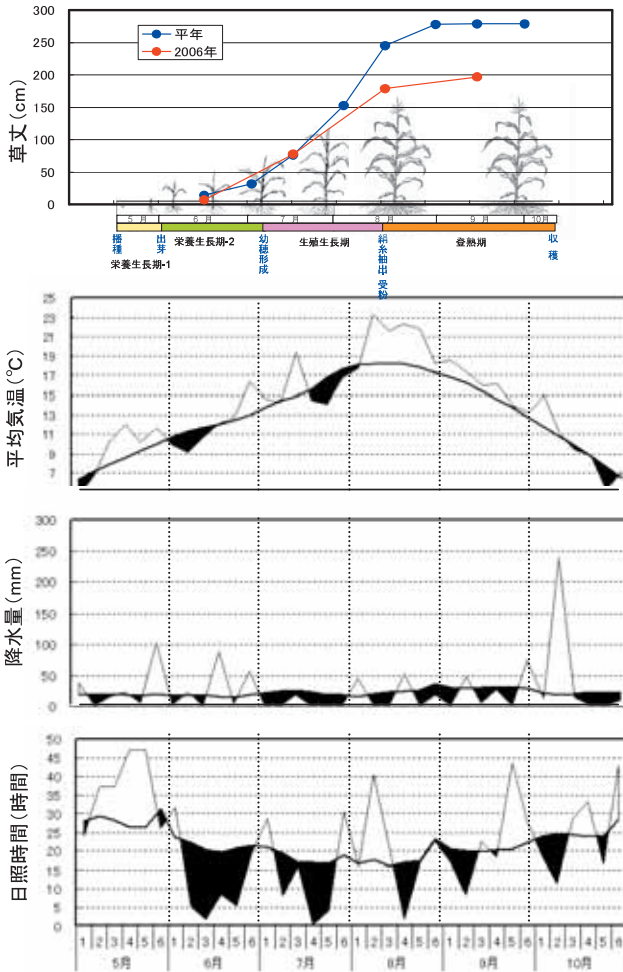


図3 中標津における2006年5月から10月の半旬ごとの気象推移（平年との比較）とトウモロコシの生育状況

それを助長した年であったと推察された。

3. リモートセンシングおよびGIS技術によるトウモロコシ生育状況とそれらに影響を及ぼす要因の解析

1) 農家圃場におけるトウモロコシ生育実態調査 (1) 背景と目的

耕種概要が多岐にわたる農家圃場では収量と耕種概要および気象データとの関係がばらつくおそれがある。そこで耕種概要や気象データがほぼ共通と見なすことができる、根室管内の農業生産法人が管理しているトウモロコシ圃場の生育実態調査を行い、圃場の地形および品種の違いが生育に影響を及ぼす要因を検討した。

(2) 方法

2009年10月13日に根室管内の農業生産法人で作付けされているトウモロコシ圃場で生育調査を行った。農業生産法人管理圃場の播種期は5月20日から31日であり、「ぱぴりか」と「クウイス」が交互条播されている。生育状況調査は起伏のある圃場5筆を選び、各圃場の窪地部分（以下、凹部）と隆起部分（以下、凸部）でそれぞれ「ぱぴりか」と「クウイス」について行った。収量調査は各地点、欠株を含め10個体分を基本とし、極端に生育の不良な地点では連続する20個体分を刈取って行った。

(3) 結果

表4に、生育調査結果をまとめた。凸部と凹部の乾物総重を比較すると圃場1、2は凸部<凹部、圃場3、4、5は凸部>凹部であり、平均すると凸部>凹部で乾物総重は凸部で多く、凹部で少ない傾向にあった。凹部は2009年のような多雨年は滞水しがちで排水不良を引き起こしていた可能性が高く、収量が低い要因の一つと考えられた。調査後の聞き取りで圃場1、2は褶曲修正を行った圃場であり、凸

表4 圃場・地形別のトウモロコシ生育調査結果

圃場 No.	地形 凸凹	品種	稈長 (cm)	熟期	すす紋病 (1-9葉)	欠株率 (%)	乾物茎葉重 (kg/10a)	乾物雌穂重 (kg/10a)	乾物総重 (kg/10a)	乾雌穂重割合 (%)
圃場・地形別平均										
1	凸	2品種平均	178	糊熟一中	6	0	746	448	1194	38
1	凹	2品種平均	178	糊熟一中	5	0	826	537	1363	39
2	凸	2品種平均	156	乳熟一後	8	0	373	166	539	31
2	凹	2品種平均	161	糊熟一中	6	0	472	293	765	38
3	凸	2品種平均	189	糊熟一中	4	0	963	527	1490	35
3	凹	2品種平均	114	乳熟一後	9	0	184	81	265	30
4	凸	2品種平均	166	糊熟一初	6	10	700	364	1064	34
4	凹	2品種平均	172	糊熟一初	6	17	626	383	1009	38
5	凸	2品種平均	168	糊熟一中	3	0	960	537	1497	36
5	凹	2品種平均	162	糊熟一中	5	0	628	415	1043	40
地形別平均										
	平均	凸	平均	172	糊熟一初		748	408	1157	35
	平均	凹	平均	157	糊熟一初		547	342	889	37
品種別平均										
	平均	平均	ぱぴりか	162	糊熟一初		657	362	1019	34
	平均	平均	クウイス	166	糊熟一中		643	382	1025	37

注) 2品種平均は「ぱぴりか」：「クウイス」=1：2の割合で計算。

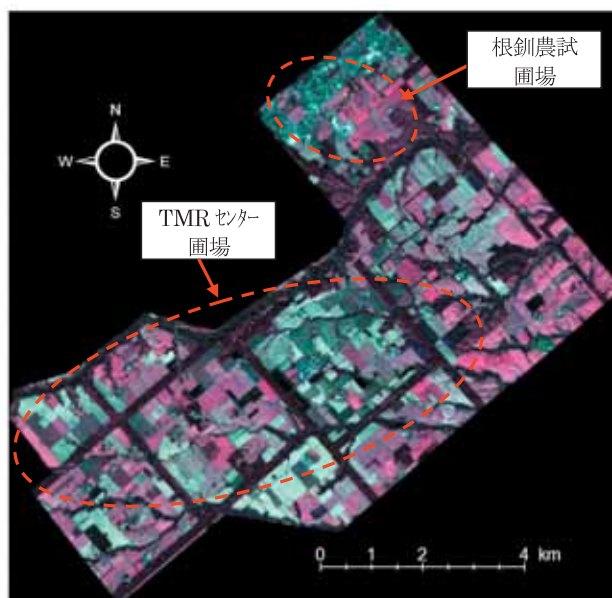


図4 解析に用いたQuickBird画像の撮影エリア

部の表土が薄くなっている可能性があることが判明した。このことが圃場1, 2で全体の傾向と逆転し、凹部で乾物総重が多かったことの原因と考えられた。また、品種による収量の違いは認められなかった。

2) 衛星データを用いたトウモロコシ収量推定

(1) 背景と目的

現地での生育実態調査では、凸部で収量が多く、凹部で収量が少ない傾向が認められた。しかし、この傾向が一般的なものかを評価するには、多数の地点を収穫調査する必要がある。長大作物であるトウモロコシについて多数の地点を収穫調査するには多大な労力を必要とすることから、収穫期に撮影された衛星データを用いて、収量を中心とするトウモロコシ生育状況を推定することが可能かを検討した。

(2) 方法

解析には、衛星データとして2009年10月12日に撮影されたQuickBirdパンシャープン画像(図4)を用いた。地上データは根釧農試場内で系統適応性検定試験実施要領に準じて取得された極早生トウモロコシの生育データを用いた。

生育調査地点の衛星観測バンドの分光反射値および可視赤バンドと近赤外バンドの分光反射値から計算される正規化植生指数(NDVI)を算出し、トウモロコシの生育データとの関係を解析した。倒伏、折損、すす紋病が著しい場合は分光反射値に影響を与えることが考えられるため、「倒伏程度が50%以上」、「折損がある」、「すす紋病罹病程度が5以上」

のいずれかに当てはまる調査地点は除外して解析を行った。

(3) 結果

表5に、衛星観測バンドの分光反射値およびNDVIと収量関連データとの相関係数を示した。バンド4(近赤外)の分光反射値およびNDVIを中心に収量関連データと有意な相関関係が認められた。図5に、乾物総重と相関係数が最も高かったバンド4(近赤外)の分光反射値との関係を示した。乾物総重とバンド4(近赤外)の分光反射値の間には直線関係が認められ有意な乾物総重推定式($r^2=0.68$, $P<0.001$)が得られた。

図6に、得られた乾物総重推定式を用いて、生育実態調査を行った農業生産法人管理の圃場を対象として作成したトウモロコシ乾物総重マップを示した。乾物総重に圃場間で差があること、さらには圃場内でもムラがあることが見てとれる。

生育実態調査を行った5圃場の凸部と凹部の乾物総重データと衛星データによって推定された乾物総重データとの関係を図7に示した。衛星データによる推定値と実測値には有意な直線関係($r^2=0.54$, $P<0.05$)、さらにスピアマンの順位相関を計算した結果でも有意な関係($r=0.66$, $P<0.05$)が認められたため、衛星データによる推定値は圃場間、圃場内の相対的な比較には用いることができると考えられた。ただし推定値はどの調査地点においても実測値より低い値となった。この原因は特定できなかった。

表5 各バンド分光反射値およびNDVIと収量関連データとの相関係数 (n=13)

		band1 可視青	band2 可視緑	band3 可視赤	band4 近赤外	NDVI
稈長	(cm)	0.50	0.46	0.37	0.58 *	0.65 *
熟度	(1-9)	-0.47	-0.48	-0.27	-0.56 *	-0.71 **
生茎葉重	(kg/10a)	0.64 *	0.62 *	0.48	0.77 **	0.79 **
生雌穂重	(kg/10a)	0.69 **	0.70 **	0.53	0.84 **	0.81 **
生総重	(kg/10a)	0.67	0.66 *	0.51	0.81 **	0.80 **
乾物茎葉重	(kg/10a)	0.69 **	0.68 **	0.54	0.82 **	0.80 **
乾物雌穂重	(kg/10a)	0.67	0.65 *	0.53	0.80 **	0.69 **
乾物総重	(kg/10a)	0.70 **	0.68 **	0.54	0.83 **	0.76 **
茎葉乾物率	(%)	0.21	0.22	0.26	0.17	-0.04
雌穂乾物率	(%)	-0.52	-0.55	-0.35	-0.64 *	-0.76 **
総体乾物率	(%)	-0.46	-0.48	-0.28	-0.58 *	-0.74 **
乾雌穂重割合	(%)	-0.54	-0.54	-0.39	-0.62 *	-0.75 **
TDN収量	(kg/10a)	0.70 **	0.68 *	0.54	0.82 **	0.75 **
乾物中TDN含量	(%)	-0.54	-0.54	-0.39	-0.62 *	-0.75 **

注1) TDN収量は新得方式(茎葉乾物収量×0.582+雌穂乾物収量×0.85)にて算出した推定値。

注2) **: 1%水準で有意な相関。

注3) * : 5%水準で有意な相関。

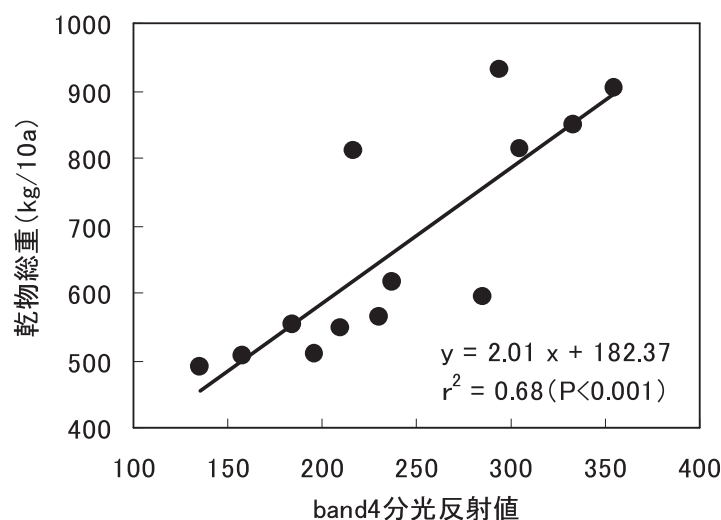


図5 バンド4分光反射値と乾物総量との関係

が、推定式作成には折損、倒伏、すす紋病が著しい調査地点は除外しているのに対し、推定式をあてはめた農業生産法人管理の圃場ではそのようなスクリーニングを行っていないことが関係しているのかもしれない。

以上、収穫期に観測された衛星データの近赤外の分光反射値を用いることで、トウモロコシ乾物総重を推定する有意な回帰式が得られた。また、作成した推定式を他圃場へあてはめることで収量の相対的な比較が可能であると考えられた。

3) 衛星データを用いたすす紋病罹病程度把握の可能性検討

(1) 背景と目的

2009年はトウモロコシの重要病害の一つであるすす紋病が多発した。すす紋病罹病程度の調査は圃場内で発生および程度のばらつきが大きく、代表値をとることが難しい。

そこで収穫期に撮影された衛星データを用いて、すす紋病罹病程度把握することが可能かを検討した。

(2) 方法

衛星データは2009年10月12日に撮影された

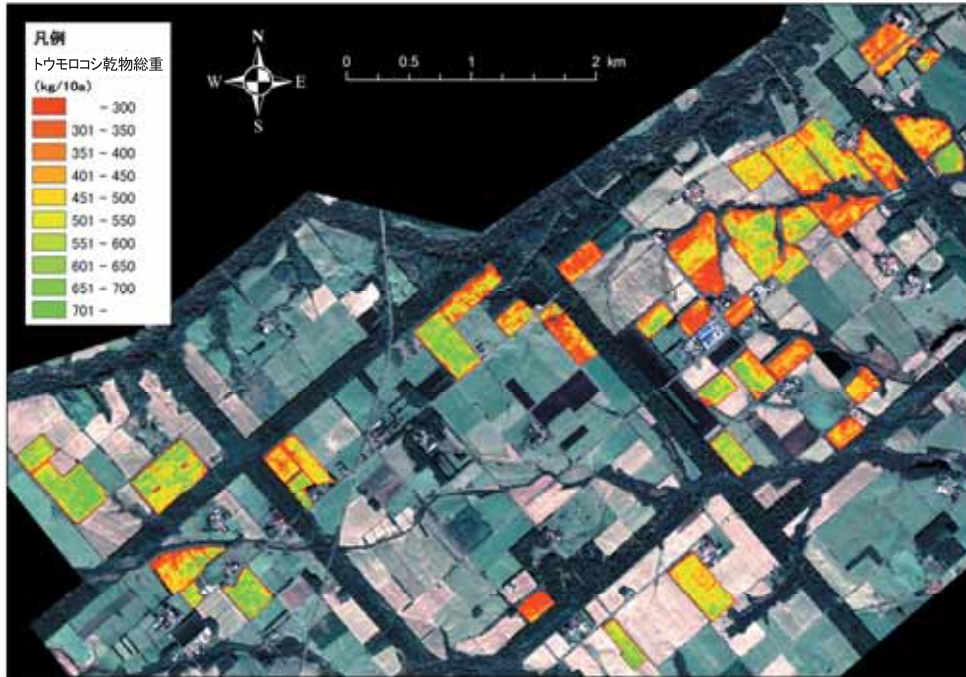


図6 TMRセンター圃場における推定式を利用したトウモロコシ乾物総重マップ

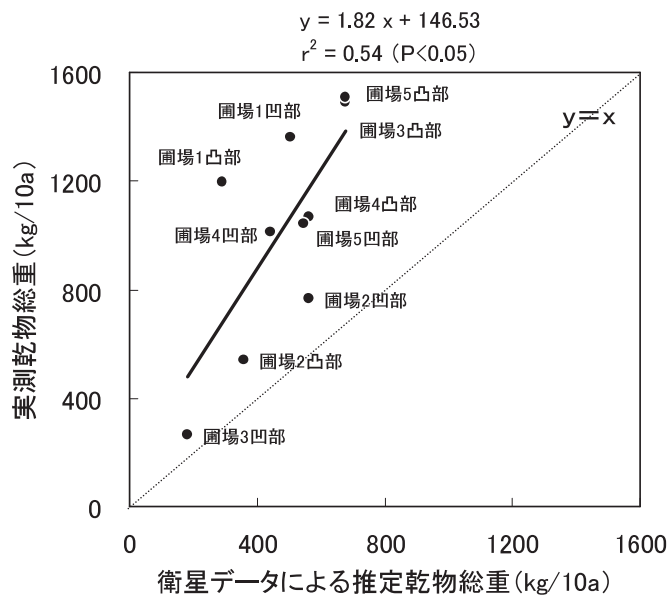


図7 実測乾物総重と推定乾物総重との関係

QuickBirdパンシャープン画像（図4）を用いた。地上データは根室農業改良普及センター北根室支所が根室管内の農業生産法人管理の圃場を対象に、2009年10月13日に行ったすす紋病罹病程度調査のデータを用いた。この調査は調査圃場の縁から10m以上入った地点で1圃場につき2～3ヵ所についてすす紋病罹病程度を9段階（1～9：甚）で評価したものである。

航空写真を用い調査地点を特定し、調査地点を中心に半径5mの範囲に含まれる衛星観測バンドの分光反射値およびバンド3（可視赤）とバンド4（近赤外）の分光反射値から計算される正規化植生指数（NDVI）を圃場毎に平均し、すす紋病罹病程度との関係を解析した。

(3) 結果

表6に、衛星観測バンドの分光反射値および

表6 各バンド分光反射値およびNDVIとすす紋病罹病程度との相関係数 (n=47)

	band1 可視青	band2 可視緑	band3 可視赤	band4 近赤外	NDVI
すす紋病罹病程度 (1-9:甚)	0.40 **	0.42 **	0.60 **	-0.52 **	-0.69 **

注) **: 1%水準で有意な相関。

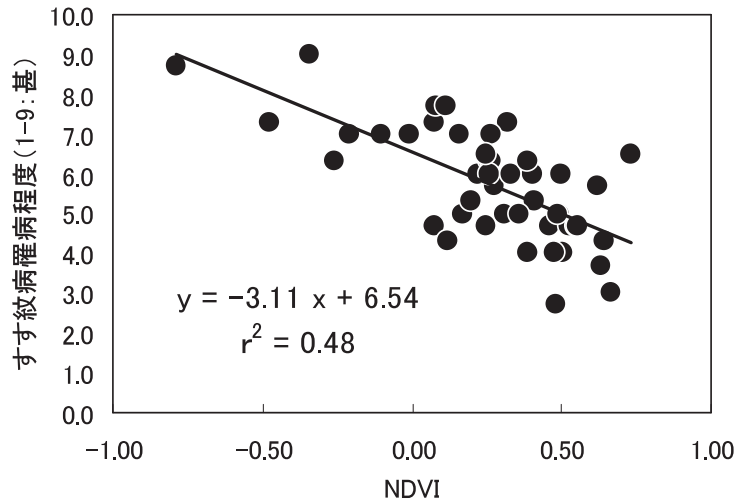


図8 すす紋病罹病程度とNDVIとの関係

NDVIとすす紋病罹病程度との相関係数を示した。バンド1 (可視青), バンド2 (可視緑), バンド3 (可視赤) の分光反射値との間には有意な正の相関, バンド4 (近赤外) の分光反射値およびNDVIとの間には有意な負の相関関係が認められた。図8に, 相関係数が最も高かったNDVIとの関係を示した。すす紋病罹病程度とNDVIとの間には直線関係が認められ有意なすす紋病罹病程度推定式 ($r^2=0.48$, $P<0.001$) が得られた。

図9に, 得られた推定式を用いて, 農業生産法人管理の圃場を対象として作成したすす紋病罹病程度マップを示した。また, 農業改良普及センター調査データを圃場ごとに平均し, 圃場の代表値とした場合のすす紋病罹病程度マップを図10に示した。図9と図10を比較するとすす紋病罹病程度に圃場内でムラがあることが見てとれ, 広い圃場での2~3地点でのポイント調査では圃場を代表する値を得ることが困難であることが分かる。

以上, 収穫期に観測された衛星データから算出されるNDVIを用いることで, すす紋病罹病程度の傾向を把握することが可能であった。

4) トウモロコシ収量に影響を与える要因の検討

(1) 背景と目的

「2009年の多雨条件下では, 圃場の凹部は滞水しがちで排水不良をまねき, トウモロコシ生育不良の原因になった。」という仮説をたて, トウモロコシ収量, 標高および土壌水分の各データを面的に重ね合わせて関係を解析し, 検証した。同様にすす紋病罹病程度に影響を与える要因を検討した。

(2) 方法

「3-1) 現地でのトウモロコシ生育実態調査」で調査対象とした農業生産法人管理の圃場 (5圃場) を対象に調査を行った。トウモロコシの収量データとして「3-2) 衛星データを用いたトウモロコシ収量推定方法の検討」で作成した乾物総重マップを用いた。トウモロコシのすす紋病罹病程度データとして「3-3) 衛星データを用いたすす紋病罹病程度把握の可能性検討」で作成したすす紋病罹病程度マップを用いた。標高データマップ (10mメッシュ) は国土地理院の基盤地図情報 (数値標高モデル) から作成した。土壌水分マップは, トウモロコシ収穫直後 (2009年10月28日~30日。10月27日に17mmの降雨あり。) にGPS付きTDR土壌水分計を用いおおよそ10m間隔で土壌水分を測定 (各圃場毎414~639ポイント) し, データ取得ポイント間を内挿処理で補間し作成した。これら乾物総重マップ, すす紋病

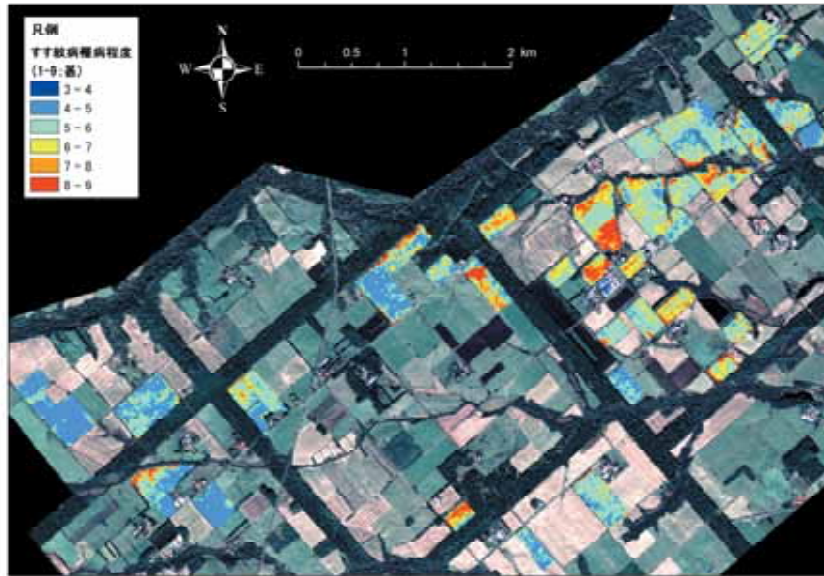


図9 TMRセンター圃場におけるすす紋病罹病程度マップ（衛星データからの推定）

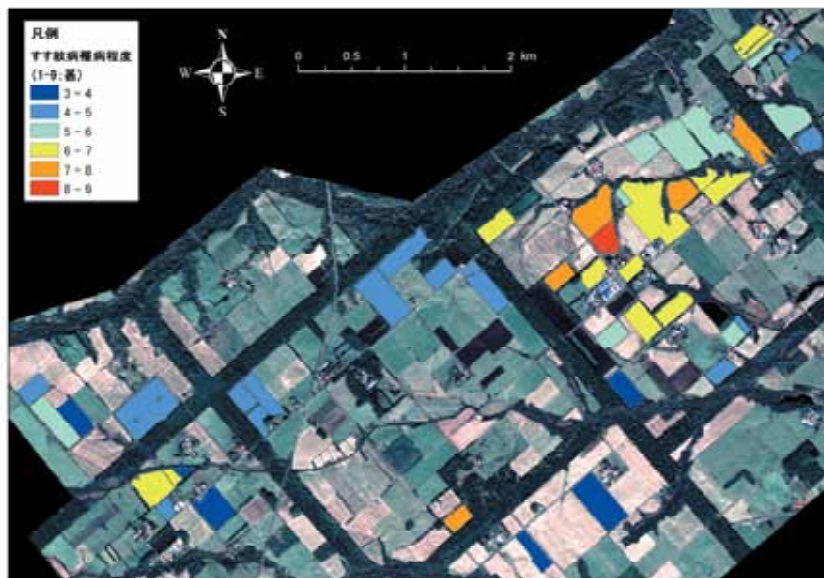


図10 TMRセンター圃場におけるすす紋病罹病程度マップ（普及センター調査データから作成）

罹病程度マップ、標高データマップおよび土壌水分マップをGISシステムで重ね合わせ関係を解析した。乾物総重マップおよびすす紋病罹病程度マップの解像度に合わせて各マップを0.6mメッシュに区切り圃場内の全てのメッシュを用いて解析を行った。図11、図12、図13、図14に、代表例として調査した5圃場のうち1圃場のそれぞれのマップを示した。

(3) 結果

表7に、標高・土壌水分・乾物総重・すす紋病罹病程度について調査圃場毎および調査圃場全体で総

当たりで相関関係を求め示した。

標高と土壌水分との関係は圃場全体では負の相関、圃場毎に見ても圃場4を除いては負の相関を示した。乾物総重と土壌水分および標高との関係は圃場全体では正の相関を示したが、圃場毎に見るとその傾向は一定ではなかった。

標高の低い部分は土壌水分が高くなり乾物総重も低下すると仮定したが、標高と土壌水分および乾物総重との間の相関は低く、明確な結果は得られなかった。

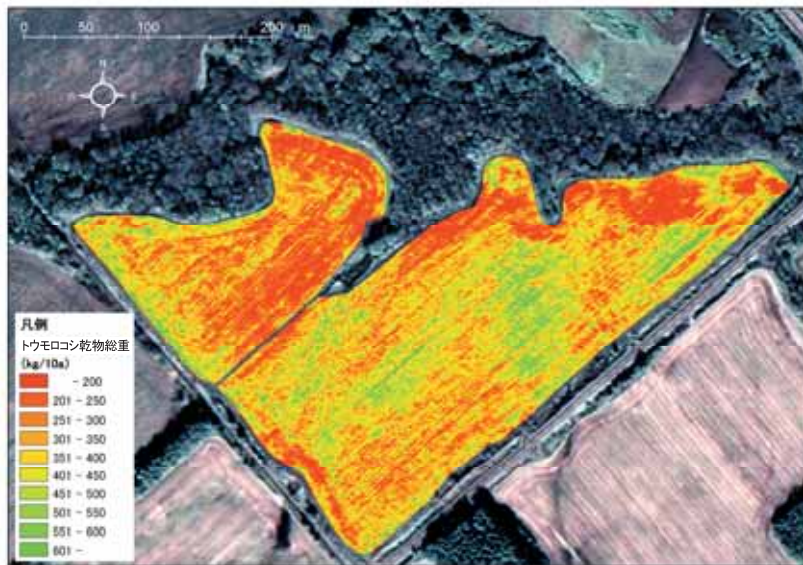


図11 TMRセンター圃場（圃場1）における乾物総重マップ

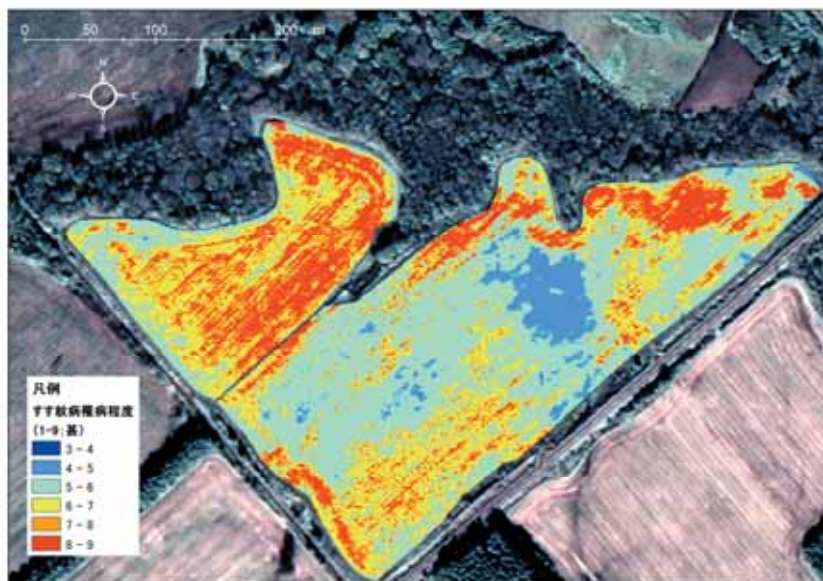


図12 TMRセンター圃場（圃場1）におけるすす紋病罹病程度マップ

また、すす紋病罹病程度と土壤水分および標高との関係も圃場全体では負の相関を示したが、圃場毎に見るとその傾向は一定ではなかった。

今回、土壤水分を測定したのは収穫後であり、得られた土壤水分マップが生育期間中の土壤水分を反映しているとは限らないこと、標高が低い地点と凹部が必ずしも一致しないこと、一致したとしても凹部が必ずしも排水不良とは限らないことなどが期待通りの結果が得られなかった要因として考えられた。また、乾物総重に及ぼすすす紋病罹病程度の影響は

極めて大きく（表7）、これが前述の地形と乾物総重との関係を混乱させているとも考えられ、更に検討する必要がある。

5) 赤かび病罹病個体出現ポイントと地形条件等との関係検討

(1) 背景と目的

2008年に調製されたトウモロコシサイレージから20ppmを超える高濃度のDON（デオキシニバレノール）が検出されて問題となった。DONは赤かび病菌が産生するカビ毒である。

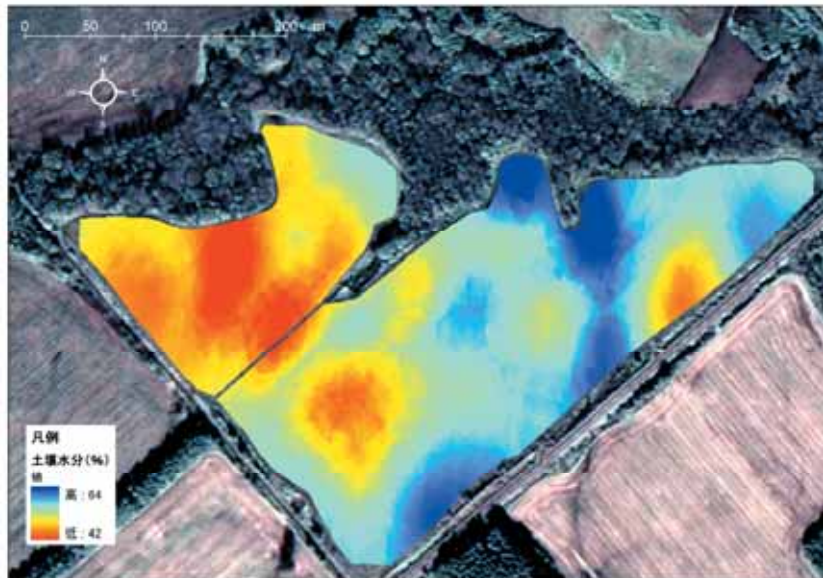


図13 TMRセンター圃場（圃場1）における土壌水分マップ

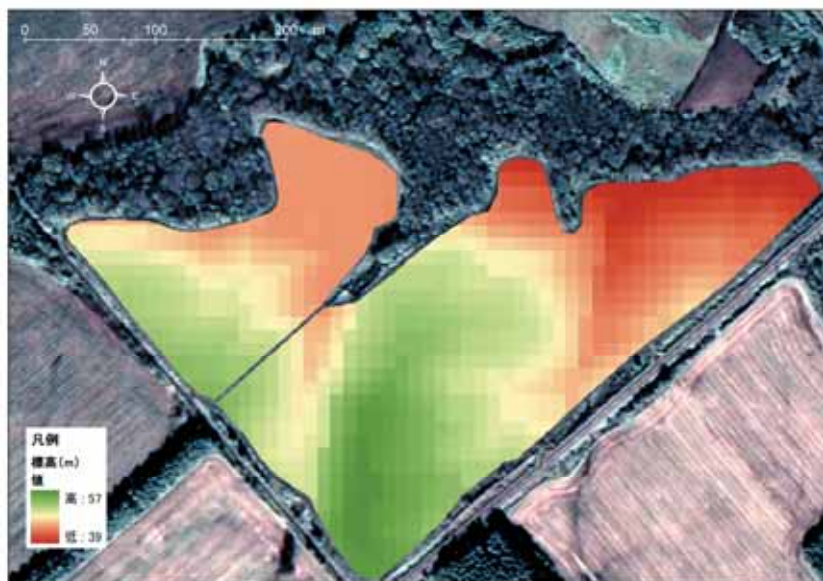


図14 TMRセンター圃場（圃場1）における標高マップ

2009年のトウモロコシ生育調査圃場で赤かび病罹病個体が多数存在する圃場が確認されたため、赤かび病罹病個体の実態調査を行った。

(2) 方法

2009年10月16日および17日に農業生産法人管理の圃場（圃場1）内を畝に沿った約5m間隔の地上踏査により調査した。赤かび病に罹病したトウモロコシ個体を確認した地点をGPSで記録した。調査圃場を10mメッシュで区切り、踏査したメッシュについて赤かび病罹病個体の出現数を算出し、前述の乾物

総重マップ、すす紋病罹病程度マップ、標高データマップおよび土壌水分マップと赤かび病罹病個体出現数との関係を解析した。

(3) 結果

図15に、10mメッシュ毎に集計した赤かび病罹病個体の出現数を示した。656メッシュのうち345のメッシュで図16のような赤かび病罹病個体が確認された（最大で10個/100m²）。表8に、赤かび病罹病個体出現数と乾物総重、土壌水分、標高およびすす紋病罹病程度との相関関係を示した。いずれも統計的に

表7 トウモロコシ生育状況と土壌水分および標高との相関係数

圃場名	調査 地点数	標高 ×土壌水分	乾物総重 ×土壌水分	乾物総重 ×標高	すす紋病 罹病程度 ×土壌水分	すす紋病 罹病程度 ×標高	乾物総重 ×すす紋病 罹病程度
圃場1	831	-0.24 **	0.10 **	0.23 **	-0.21 **	-0.26 **	-0.91 **
圃場2	721	-0.06	-0.10 **	0.31 **	0.08 *	-0.27 **	-0.95 **
圃場3	789	-0.31 **	0.04	0.04	0.09 **	-0.18 **	-0.91 **
圃場4	795	0.36 **	-0.26 **	-0.17 **	0.31 **	0.24 **	-0.89 **
圃場5	816	-0.36 **	0.21 **	-0.20 **	-0.24 **	0.14 **	-0.78 **
全体	3952	-0.19 **	0.14 **	0.60 **	-0.13 **	-0.51 **	-0.91 **

注)**:1%水準で有意な相関。*:5%水準で有意な相関。

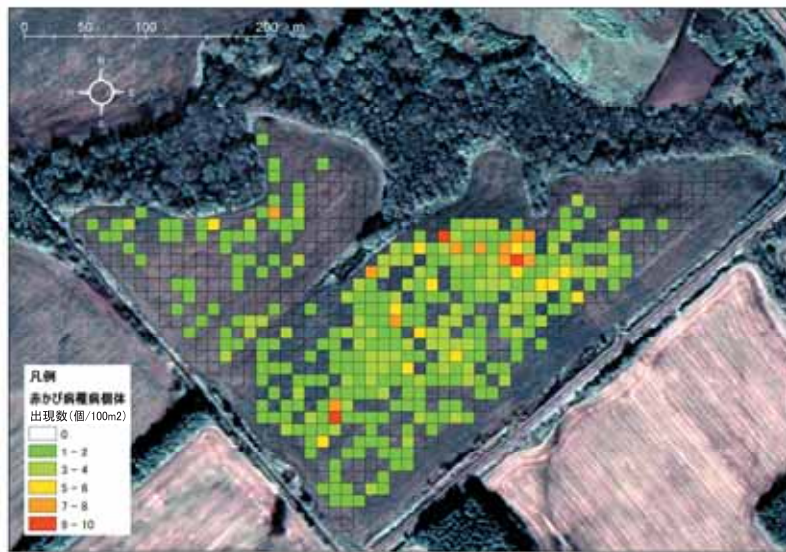


図15 TMRセンター圃場（圃場1）における赤かび病罹病個体出現数

は有意な相関となり、この圃場内では乾物総重の低いエリアでは赤かび病の発生が少なく、すす紋病罹病程度の高いエリアと赤かび病多発エリアは重複していないという傾向が見られた。しかし相関係数が低く明確な関係は明らかにならなかった。

6) まとめ

衛星リモートセンシングによってトウモロコシ収量およびすす紋病罹病程度の状況を把握できる可能性が示された。しかしながら、GIS技術を用いた解析でそれらに影響を及ぼす要因を明らかにするまでには至らなかった。

衛星リモートセンシングおよびGIS技術によって得られた各種マップの精度検証（特に乾物総重やすす紋病罹病程度推定に折損、倒伏が与える影響の検討など）、トウモロコシ生育の不良年のデータだけではなく平年および良好年のデータ蓄積を行い、詳細な耕種概要等と合わせて解析を進めることが今後



図16 TMRセンター圃場（圃場1）で観察された赤かび病罹病個体

表 8 赤かび病罹病個体出現数と乾物総量、土壌水分、標高等との相関係数 (n=656)

	乾物総重	土壌水分	標高	すす紋病
赤かび病罹病個体出現数との相関	0.24 **	0.14 **	0.14 **	-0.33 **

** : 1%水準で有意な相関。

の検討課題と考えられた。

4. 摘 要

今後の営農指導, トウモロコシ栽培の参考にするため, 根釧農業試験場で栽培されたトウモロコシの生育状況および気象データを示し, 天候不順であった2009年における根釧地域のトウモロコシ生育状況を整理した。

また, 一筆あたり面積が広大で広域にわたるトウモロコシ生育データを効率的に取得する方法として衛星リモートセンシング技術の適用を検討し, トウモロコシ収量およびすす紋病罹病程度の把握可能性を示した。衛星リモートセンシング技術で得られたトウモロコシ生育状況と地形および土壌水分の関係をGIS技術を用い解析したが, 生育状況に影響を及ぼした要因を明確にはできなかった。

VI Silage corn

Reporting the poor growth of silage corn and climate condition in Konsen Region in 2009 and applying Remote Sensing and GIS techniques for the factor analysis.

Tsukasa MAKINO

Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station

Summary

In Konsen Region, the growth of corn in 2009 was delayed due to unstable weather. For future reference, growth features of silage corn and meteorological data in this region in 2009 were shown and arranged. The usefulness of remote sensing and GIS techniques for estimating silage corn growth was investigated. The results showed that silage corn yield and incidence degree of northern leaf blight could be estimated by using these techniques. The relationships among the silage corn growth estimated by satellite remote sensing, ground elevation, and soil moisture content in autumn were analyzed using GIS to examine how they influence each other. However, the relationships among factors could not be clarified.