

東北の農業気象

Agricultural Meteorology in Tohoku

Vol. 53

Mar. 2009

北海道・東北支部合同大会 シンポジウム要旨

気象観測の歴史と気候変動	
間宮嘉久	1
函館は農業気象始まりの地？	
広田知良	3
北海道における農業技術の研究方向をどう考えるか	
渡辺祐志	5
福島県における温暖化の兆候と試験研究の取り組み	
荒川市郎	8
地球温暖化が寒冷地のコメ生産に及ぼす影響	
下野裕之	10
Rice FACE 実験の成果と今後の課題	
岡田益己・下野裕之	13
微気象学的方法による陸域生態系の炭素吸収量の推定	
平野高司	16

支部合同大会研究発表要旨

簡易渦集積法を用いた水田におけるメタンフラックスの測定	
矢崎友嗣・永田修・三國孝博・登尾浩助・広田知良	18
カラマツ林倒壊跡地における生態系 CO ₂ 交換量の季節変化と環境応答特性	
鬼頭宏幸・佐野智人・平野高司・梁乃申・藤沼康実	20
釧路湿原におけるハンノキ林侵入が泥炭の生成・分解に与える影響	
泉谷一樹・岡田啓嗣・浦野慎一・山田浩之・伊藤享・矢部和夫	23
サロベツ湿原ポグドームの地下水浸透特性	
田中祥人・山田浩之・平野高司	25
仮想化 OS を利用した岩手県農業情報システムの構築	
梁川翼・坂本功也・阿部芳彦・片町健太郎・菅野史拓・三熊有孝・ 横田紀雄	27

裏面に続く

日本農業気象学会東北支部

〒020-0198 盛岡市下厨川字赤平4 東北農業研究センター内

霜害監視システムの開発	
渡邊明	29
自然氷を利用した農水産物貯蔵庫の熱収支	
佐伯寅彦・浦野慎一・木村賢人・岡田啓嗣・小川善一・菊江工	31
肉牛生産における放牧と舎飼いとエネルギー収支の比較	
皆川秀夫・中坪あゆみ・田中勝千	33
温暖化傾向に伴うカメムシの世代と水稻の生育ステージの関係	
荒川市郎・松木伸浩・菅野洋光	35
秋田県横手市における20年間の水稻生育期間の気温経過からみた「あきたこまち」の生育特性	
佐藤雄幸・金和裕・宮川英雄	36
北海道における温暖化が水稻の出穂時期に及ぼす影響評価のための加温試験	
濱寄孝弘・根本学・廣田知良・鮫島良次	38
北海道における現在までの気温変化にともなう水温と農業気候資源の変化	
木村愛・太田俊二	40
テレコネクションパターンによる3つの主要農業地域における夏季天候変動	
菅野洋光	42
支部だより	
2008年度支部大会報告	44
支部会案内	
会則・規程	46
投稿規程	50

※本支部会誌に掲載されているシンポジウム要旨は2008年11月25日に北海道函館市「函館市産学官交流プラザ」で開催された「北海道・東北支部合同大会」で発表されたものです。なお2009年度の北海道支部会誌にも同じ要旨が掲載されます。

気象観測の歴史と気候変動

間宮 嘉久 (函館海洋気象台)

1. 函館気候測量所の創業

函館海洋気象台の前身である「函館気候測量所」は、日本で最初に気象観測を始めた官設測候所で、明治5(1872)年から観測を開始している。

伊豆の下田と並び幕末の海外への窓口となった開港場「箱館」(明治2(1869)年に函館に改字)には、外国人が渡来・在留するようになり、彼ら自身の必要性から、不統一ながら気象観測が実施されたが、いずれも断片的な観測に終わっている。古くは安政元(1854)年ペリー艦隊が入港した際、気象観測や深淺測量をしたことが報告されている。ついでロシア人の医学者アルブレヒトが安政6(1859)年から帰国するまでの2年間箱館港付近の自宅で気温の観測を行い、万延元(1860)年には雨雪日数も観測した。また、日本人では勝海舟の副使として咸臨丸で渡米した箱館奉行村垣淡路守範正が安政元(1854)年から安政5(1858)年まで風、天気、気温、地震、雷などの観測を行い、公務日記に克明に記載している。

一方、有名なブラキストンライン(津軽海峡における動物学的分布境界線)を発見し、いくつかの科学的業績を残したイギリス人事業家トーマス・ライト・ブラキストンは、元治元(1864)年から明治4(1871)年までの8年間函館において雨雪日数を観測し、慶応4(1868)年からは本国から取り寄せたアネロイド気圧計などの測器を用いて気圧、気温の観測も行っていた。ところが、ホーレス・ケプロンが明治4(1871)年に北海道開拓使顧問団長として来日するとすぐに北海道開拓における気象観測の重要性を説き、ブラキストンの観測を利用して北海道の気候を論じたりしたため、ブラキストンは函館で続けていた気象観測を開拓使に引き継ぐことを考え、開拓使函館支庁勤務で彼の友人だった福士成豊にこのことを相談したと伝えられる。

福士成豊は、天保9(1838)年松前藩に仕えた名船大工、続豊治の子として生まれ、箱館奉行所から受注した洋式帆船「箱館丸」の建造では父を助けた。また、通訳や測量など幅広く活躍し、特に同志社大学の創立者新島襄と出会い、彼の密航を助けたことは周知の事実である。福士も暴風による海難防止や北海道開拓には気象観測が必要と考えており、開拓使函館支庁に建議して明治5(1872)年8月26日函館に日本で最初の測候所を創業した。なお、東京気象台は明治8(1875)年6月、札幌測候所は明治9(1876)年9月に観測を開始している。

函館気候測量所では、ブラキストンから譲り受けた測器に加えてイギリスから新たに測器を取り寄せ、気温、気圧、曇天日数、雨雪日数、湿度、水蒸気張力、雨量、雪の溶解水容積などを観測した。また、明治8(1875)年には初めて観測の結果を取りまとめ、函館の9か年(安政6年～明治7年)平均気候表を印刷・刊行した。明治13(1880)年5月からは竹製赤球の信号標識で暴風雨襲来への警戒を促している。ただし、当時は晴雨計(アネロイド気圧計)の変調で天候を判断しており、極めて的中率の低いものだった。

2. 函館海洋気象台の変遷

函館気候測量所は、明治5(1872)年8月26日から福士成豊の自宅である函館区舟場町で創業した。開所当時は借家のため万事不便で、住宅密集地にあったため観測に与える影響を考慮し、開拓使傭ウイリアム・ホイラーの検分により明治12(1879)年6月函館区高砂町に移転した。しかし、大正2(1913)年5月4日の函館大火で庁舎が焼失し、急遽函館区海岸町函館築

港事務所内で観測を行った。その後、大正 2 (1913) 年 11 月函館区海岸町埋立地の仮庁舎に、大正 5 (1916) 年 10 月には新庁舎に移転した。また、鉄道工事に伴って大正 12 (1923) 年 10 月には函館市海岸町官有地に、昭和 15 (1940) 年 9 月には亀田郡亀田村字赤川通 (現在の函館市美原) に移転している。

この間、函館測候所、函館一等測候所などと改称されたが、昭和 17 (1942) 年 8 月には海洋観測船「夕汐丸」(140 トン) の配属などにより函館海洋气象台に昇格した。なお、現在の海洋観測船は昭和 63 (1988) 年 7 月に竣工した「高風丸」II 世 (487 トン) である。

3. 函館における気候変動

函館における年平均気温の経年変化を右図に示す。上述したように大正 2 (1913) 年及び昭和 15 (1940) 年に観測場所が大きく移転したため、観測データを連続的に比較するには移転補正する必要があるが、今回は実施していない。このため、連続する観測データがある昭和 16 (1941) 年以降をみると、函館における年平均気温は様々な変動を繰り返しながら、長期的には日本や世界の気温と同様に上昇している。これは、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の影響に、数年～数十年程度の時間規模で繰り返される自然変動が重なっているものと考えられる。ただし、函館海洋气象台も近年周辺環境は大きく変化しており、この昇温には都市化などの影響を含んでいることも考慮する必要がある。

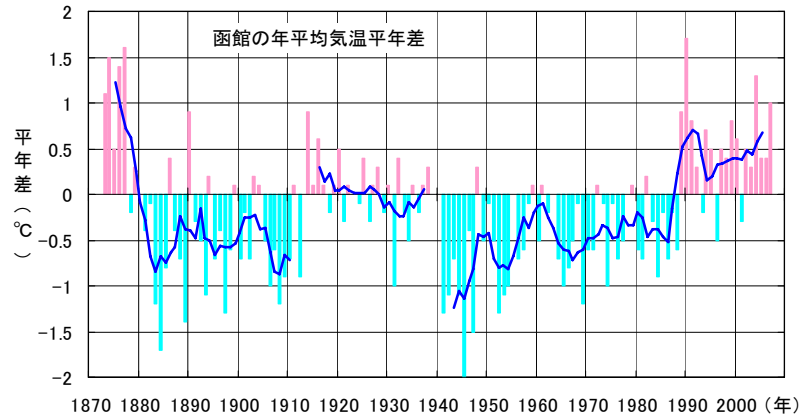


図 函館における年平均気温の経年変化 (1872～2007 年)
棒グラフは各年の平均気温の平年差を、太線は平年差の 5 年移動平均を示す。平年値は 1971～2000 年の 30 年平均値。

4. 終わりに

現在、気象庁では函館海洋气象台をはじめとする日本国内 153 地点の气象台や測候所と約 1,300 地点の地域気象観測所 (アメダス) などにおいて、気温や降水量などの地上観測を実施し、その観測データはリアルタイムで国内及び世界に配信されている。また、気象レーダーや気象衛星などによる観測データの充実もあって数値予報の精度は格段に向上し、この数値予報資料に基づいて作成される天気予報や防災情報は広く一般に利用されている。海洋気象観測船「高風丸」における海洋観測及び海上気象観測により地球温暖化に関わる海洋の長期変化も監視している。

我々は、先人たちの志を受け継ぎ、引き続き自然現象の監視や適時・適切な防災情報の発表に努める。特に近年、地球温暖化が懸念されるなか、海洋のデータも含め気象庁で長期間継続されている観測データが、問題の解明・監視に貢献することを望んでやまない。

5. 参考文献

- 函館海洋气象台 (1971) : 函館海洋气象台沿革史 1872～1972 年, 測候時報, 38, 406～454.
青木慶一郎 (1989) : 福士成豊の生涯, 気象, 1989 年 4 月～7 月.
鯉沼寛一 (1968) : 初期の日本気象業務史 (2), 測候時報, 35, 218～224.

函館は農業気象始まりの地？

- そして北海道で起きている気候変動（土壌凍結深変動）と農業に与える影響 -

広田 知良（北海道農業研究センター）

1．函館は農業気象始まりの地

北海道開拓の基本構想はアメリカ合衆国農務局長であったホーレス・ケプロン(1804-1885)によって示された。彼は、明治5年(1872年)に函館におけるブラキストンの気象観測をもとにして四季の平均気温を求め、これをアメリカ北東部の各州と比較して、「北海道はアメリカのこの緯度の地方と同じ位の気候であり、積雪は多いがそれはむしろ土地の保温に役立っている」と述べ、結論として「北海道は米作には不適だが、ムギ、トウモロコシを中心にすればアメリカ北東部と同程度の開拓は可能である」とした。ちなみに、ブラキストンの気象データとは、トーマス・ライト・ブラキストン(1832-1891)¹⁾による函館での元治元(1864)年から明治4(1871)年までの8年間の雨雪日数および慶応4(1868)年から明治4年までの4年間の気温、気圧の観測のことである。この気象観測が明治5年(1872)年からの我が国最古の函館測候所（現函館海洋气象台）の観測に引継がれて今日に至っている。

つまり、ケプロンは我が国における本格的な気象観測が実施される前のブラキストンの観測した気象データに基づきアメリカ北東部と北海道の気候を比較検討することによって、適地適作を論じたのである。このことは、日本における近代科学としての農業気象の歴史が、ここ函館から始まったと考えることができる(広田,2001 北海道の農業気象 53)。

ケプロンはまた、「さらに気象観測を積み重ねる必要がある」と、気象観測継続の重要性を強調した。この提言が函館における我が国による本格的な気象観測の実施へも影響を与えたのであろう。明治10年(1877年)には、欠測期間を除いたこれまで11年間の平均を基にした気候表が開拓使函館支庁により印刷発行されており、これは我が国初の気候値の作成といえる。なお、我が国による東京での気象観測開始は、明治8年(1875年)であり、函館の気象観測開始から遅れること3年である。実際、函館では東京での気象観測開始からわずか2年後にすでに気候値が作成されたことになる。

2．北海道で現在起きている気候変動（道東地方における土壌凍結深の減少傾向）

現在、北海道・十勝地方は、同じ北海道でも函館とは気候が異なり、冬は少雪厳寒のため土が凍る土壌凍結地帯として知られている。ところが、1980年代後半からの近年の20年間、土壌凍結深が顕著な減少傾向にある。要因は断熱作用のある積雪深が初冬の時期に増加しているからである(Hirota et al.2006;JMSJ)。さらに、演者は土壌凍結深の長期変動について、日々の気温と積雪深から計算できる土壌凍結深推定モデル(Hirota et al.2002;JGR)を用いて、できるだけ過去に遡って調べてみた。函館で気象観測が開始されて以来、明治9年(1876)年に札幌での地方測候所での設置を皮切りに19世紀後半から北海道各地でも組織的な気象観測が開始されており、北海道・十勝地方の帯広では1897年～気温と積雪深の観測データが揃っている。そこで土壌凍結深モデルにより帯広の1897年～2007年までの年最大土壌凍結深を計算した。結果は、1980年中頃から遡り、1世紀以上前の北海道開拓頃までの過去においては、最大土壌凍結深は平均して概ね30-50cm以上あったが、1980年後半から減少傾向に転じ、特に近年10年の年最大土壌凍結深は、20cmを下回ることが多くなった(図)。つまり、近年の土壌凍結深の顕著な減少は北海道開拓以来の初めての現象である。そして、土壌凍結深の減少は、農業に影響を与

えている。例えば、馬鈴薯収穫跡畑において、前年度の収穫時にこぼれた小イモが翌年に芽を出し雑草化する「野良イモ」の多発を生じている。これは、かつては厳しい冬の土壤凍結環境で凍死したイモが、土壤凍結深が浅くなることで越冬可能になり雑草化する現象が生じている。

3. 終わりに

本年(2008年)はG8サミットが北海道で開催され、しかも主要テーマが地球温暖化であった。温暖化影響を考えたとき、北海道側からの立場では、東北のこれまでの経験は参考になると考えられ、この年に北海道と東北との合同大会は意義深いと考える。今後、両支部の交流をさらに深める重要性は高まるであろう。本シンポジウムの企画者の1人として、初めての農業気象学会北海道・東北支部合同大会を函館で開いた趣旨をご理解頂ければと思っている。

ケブロンが示した北海道における開拓方針から1世紀以上を経た。現在、北海道・十勝地方での土壤凍結深の減少と農業へ与える影響例で示されるように、北海道開拓以来初めてとなる気候変動による農業への影響が現れ始め、これに対応した農業技術を本格的に検討しなければならない時期に来ていると考える。実際、野良イモの問題に対しては、冬季の雪割り(土壤凍結促進)による野良イモの凍死処理を行う新たな対応技術に一部の農家はすでに取り組み始めた(広田、2006)。ちなみに函館のある道南地方は男爵イモ発祥の地でもあり、さらに今年2008年は国際イモ年でもある。ケブロンの「積雪は多いがそれはむしろ土地の保温に役立っている」は野良イモの発生要因の条件でもある。この年に函館の地において北海道で起きている気候変動とイモの問題の関係を上げることができるとも何かの縁を感じる。

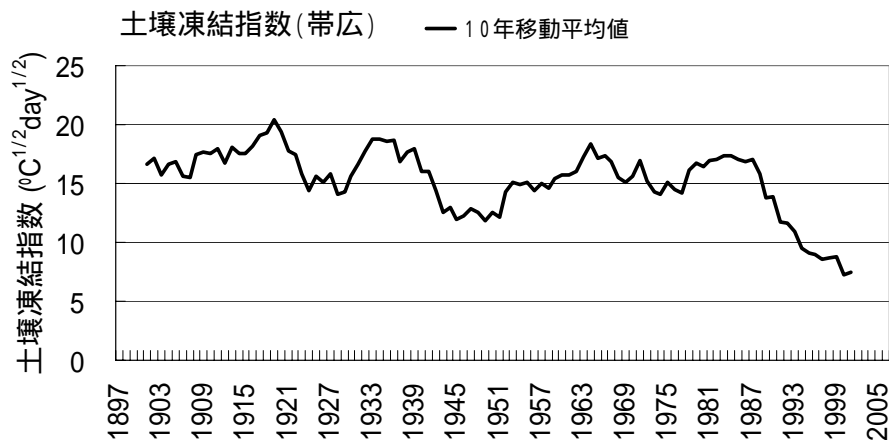


図 帯広における土壤凍結指数の年々変動(土壤凍結指数×2 = 年最大土壤凍結深(cm)に相当する)
(土壤凍結深モデル(Hirota et al.2002)による計算結果は講演時に示す予定)

参考資料(函館の気象観測及びブラキストン、ケブロンとの関わりは以下のWEBから引用した)

函館市史(デジタル編) http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/soumu/hensan/hakodateshishi/tsuusetsu_01/shishi_01-04/shishi_01-04-01-01-01.htm

函館海洋気象台 <http://www.hakodate-jma.go.jp/hakodatejma/saisyo.html>

また、ブラキストンとケブロンの記述はウィキペディアも参考にした。

*ブラキストンは冒険家、実業家としても多くの業績を残し、函館に西欧文明をもたらした人として知られている。自然科学の分野でも、津軽海峡の北と南では生息する動物の種類が異なることを示したブラキストンラインの確立の業績がある。

その他参考資料 宮本硬一,1987:我が国農業物理学の系譜(1)~(5), 農業技術,42(3)~(7)

北海道における農業技術の研究方向をどう考えるか

渡辺 祐志（北海道立中央農業試験場）

1. はじめに

地球温暖化は、単なる気温の上昇にとどまらず、国際的な食料生産の変化などを通じて、近い将来に北海道農業を取りまく状況に大幅な変化を及ぼす可能性がある。国内の食料供給を支える北海道農業の役割は今後さらに重要となることが見込まれるが、気象変動に対する適切な適応策が機能することがその前提となる。また、農業についても産業の一分野として温室効果ガスの発生削減などの温暖化緩和策を取ることが求められており、適応策と緩和策の両面で技術開発の方向性を検討する必要性がある。

2. 北海道における気候変動の見通しと農業への影響予測

気象庁では、IPCCの温室効果ガス排出シナリオのうちA2シナリオ（経済重視で地域志向が強まると仮定）に基づいて、地域気候モデルによる21世紀末（2081～2100年）の日本周辺の気候変化を予測している（地球温暖化予測情報第6巻、2005）。

北日本に関しては、夏の昇温量が小さいことが指摘されており、これは現在までの長期的気温推移の傾向と同様である。農耕期間にあたる5～9月の気温変動の増加が予測されていること、オホーツク海高気圧の強さの年々変動が大きくなるとされていることは懸念材料であり、当面は冷夏の危険性はなくなるものと考えられるべきであろう。

降雪量については、地球温暖化予測情報第7巻（2008）でさらに詳細な予測が行われ、北海道を除く日本のほとんどの地域で減少するのに対し、北海道では、12～3月を通算した降雪量は標高の低い（300m未満）所では減少も見られるものの、標高の高い所では北海道内全域で気候シナリオに関わらず増加するとされた。標高の低い非かんがい畑地において融雪期の前進が春季の干ばつを招くことがないか、検討が必要である。

国内農業生産への影響に関しては、様々な予測がなされている（表1）。

表1 国内農業生産への影響予測例

項目・出典	内 容
水稻収量の変化 林ら(2001)	2060年代に全国平均で約3℃気温が上昇した場合、潜在的な収量が北海道では13%増加、東北以南では8-15%減少する。（気温と日射量のみから予測、最大の収量を得られるように移植日を最適化しているが、高温不稔による減収や、土壌条件や病虫害の発生の影響は考慮していない）
水稻収量の変化 横沢ら(2008)	移植日を現在のままと仮定すると、2046～2065年の平均収量は、現在に比べて、北海道および東北においてそれぞれ26%、13%増収し、近畿、四国では、両地域とも現在に比べて5%減収する（気温、日射、CO ₂ 濃度などから収量を計算、低温・高温障害を考慮、2050年には1990年に対して2.8℃の気温上昇を仮定）
水稻生態系の脆弱性 西森ら(2001)	平均気温が約2℃上昇した場合について、登熟期の気温、代かき・田植え期の農業用水、ヒメトビウンカの世代交代速度の3つの生育阻害要因から総合的に評価した水田生態系の脆弱性は北陸地域で最も高く、次いで東北日本海側及び南関東地域と推定された。
果樹の栽培適地の移動 果樹研究所 (2002)	リンゴ栽培の適地温度域は年平均気温で7～13℃であり、2060年代に全国平均で約3℃気温が上昇する場合、北海道はほぼ全域が適地になる一方、関東以南はほぼ範囲外となる。（生育が前進することによる開花期の晩霜害発生などは考慮されていない）
牧草生産の変化 佐々木ら (2003)	100年後に年平均気温が約4℃上昇する場合、寒地型牧草の適地が縮小、暖地型牧草の適地が拡大し、日本全体の牧草の生産量は約1.5倍に増加する。（気温、日射、CO ₂ 濃度などから収量を計算する統計的なモデルで算出）

水稲に関しては数多くの報告があり、西南暖地においては減収を予測している例が多いが、北海道・東北については増収の可能性を予測しているものが多い。

果樹については、平均気温を指標に将来北海道全域がリンゴの適地となる予想があるが、当面は生育が前進することによる開花期の晩霜害発生なども予想され、生育ステージを考慮した検討が必要である。

畑作物の場合には温度に加えて降水量の影響が重要となるが、北海道の主要畑作物に関して水分条件を考慮した具体的影響予測はこれまでのところ行われておらず、コムギ、テンサイ、バレイショ、ダイズ等に関する検討が必要である。

飼料作物について、水分ストレスを加味して道北のオーチャードグラスの2040年代および2080年代における乾物生産量を予測した結果では、現在の1.2倍程度の増収となり、水分ストレスを考慮しない場合よりも増収割合が小さいことが示されている(中辻、2008)。

3. 北海道における農業技術研究の方向性

温暖化は今後の北海道農業を考える上で重要な問題であるが、気象変動のみならず、世界的な食料生産の変化や日本国内の変化を視野に入れた対応が必要である。また、資源・エネルギーの長期的な高騰も大きな制約条件となると考えられる。一方で、2030年には北海道の総農家戸数は現状の4割程度にまで減少し、1戸あたり経営面積は平均41ha(2000年17ha)と大規模化することが見込まれる(日本経済新聞社、2006)など、社会的な面でも大きな変化が予想されている。

北海道農業の位置づけの変化としては、①国内の食料供給を支える北海道農業の役割は今後さらに重要となる、②飼料需要・エネルギー原料需要の増加により国際的な飼料価格の高騰が継続し、自給飼料基盤を持つ地域の相対的優位性が増す、③食料安全保障及び需給調整システムとして食用、飼料用、エネルギー用農産物を状況に応じて作付けする戦略が重要となる、などが基調となると予想される。

それぞれの予測には不確実性があり、農業を取りまくすべての事象を予測することは不可能である。そのため、注意深い観察と予想をベースにして想定される条件下で実行可能な対応策をリストアップし、優先順位をつけて、場合によっては試行錯誤的に対応することになるであろう。近い将来の北海道農業を取りまく状況を想定し道立農試がリストアップしている技術対応の方向は、下記のようなものである。

1) 現状把握及び将来の影響予測

適応策の検討に先だって、最も脆弱性の高い作物、地域を明らかにするための現状把握と将来予測が必要となる。長期的なデータの蓄積がある既存の調査をフルに活用・解析するとともに、将来に向けてモニタリングすべき項目を検討する必要がある。作況調査における季節表などは、気象庁では把握していない貴重なデータである。病虫害分野では発生予察が今後も重要である。

作物への温暖化影響について、水稲については国の研究機関を中心に多くの予測例があるが、本道の畑作物や飼料作物についての検討例はほとんどないことから、これらの影響予測が必要である。

2) 緩和策

温暖化ガスであるメタン・亜酸化窒素に関しては、道立農試においても1990年代から研究蓄積があり、水田・畑・草地からの発生実態、抑制策等が検討されている。また、家畜ふん

尿のバイオガス利用に関しては施設、経営面、消化液の利用など多方面からの検討がなされている。エネルギー資源向け作物の生産に関しては、現在複数のプロジェクト研究を実施中であり、今後も国の政策動向等を注視しつつ研究の展開を図る必要がある。

3) 適応策

当面は短期的な適応策が優先されるが、作期・栽培法の変更で対応可能な変化幅、品種の変更が必要な変化、新品種の開発、作物の変更など抜本的な対応が必要な変化などをあらかじめ見込んでおくことが望ましい。想定される適応策は多岐に亘ることから、既存の技術開発体系の中に温暖化適応の視点を組み入れて実施することが効率的と考えられる。

具体的に想定される事象の例としては、気温上昇による作物収量・品質の変動、新たな病虫害の発生、降雨変動の激化に伴う干ばつ・湿害の増加、土壌浸食の激化、道東における土壌凍結の減少などがあり、対応としては高温障害回避技術を含む栽培技術の変更、新たな病虫害対策、作物品種開発における高温耐性・病虫害耐性の強化、持続的な土壌管理法の開発などが考えられる。また、栽培技術・生産体系は省資源・省エネルギーなものにシフトしてゆく必要がある。

主な参考資料等

茨城大学ほか 地球温暖化「日本への影響」-最新の科学的知見- (2008年)

<http://www-cger.nies.go.jp/climate/rrpj-impact-s4report/20080815report.pdf>

IPCC 第4次評価報告書 第2作業部会：気候変化がもたらす好影響・悪影響、気候変化への適応 (2007年)

http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/wg2_gaiyo.pdf (概要)

気象庁 地球温暖化予測情報 第6巻 (2005年)、同左 第7巻 (2008年)

<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/GWP/index.html>

日本経済新聞社 北海道2030年の未来像 (2006年)

農水省 地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策 (農林水産研究開発レポート No.23) (2007年)

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report.htm>

福島県における温暖化の兆候と試験研究の取り組み

荒川 市郎 (福島県農業総合センター)

1 なぜ福島県で温暖化なのか

福島県は、東北の南端に位置し、関東地方・北陸地方と接していることから、東北でありながらコシヒカリの主要生産県の一つになっているものの、一般には寒冷地としての印象が強い。また、県の東西（太平洋側と会津地方）や標高差（農地が 0m から 1000 mまで分布）するなど、自然条件が多様であり、仮に温暖化の影響が顕在化したとしても、県内で産地を移動したり、現在南の県で実施されている技術を導入すれば良いと安易に考えがちである。一方で、多様で微妙な自然条件に立地していることから、小さな変化も顕在化しやすいとも考えられる。

筆者は、平成5年の冷夏による大冷害と翌年の高温による高冷地の多収事例などの解析を通じて、福島県の農業生産における高温の影響について注目したが、当時は作況指数の大小に隠れて問題とはならなかった。特に、水稻は、基幹品種がコシヒカリであり、北限に近い場所で生産していることから、県全体としては高温の影響はプラスの方向に働いている。

一方、果樹については、暖冬の影響等で発芽期や開花期が早まる傾向がみられ、かつては4月上旬に実施されていた「防霜対策会議」の設置が3月下旬に開催されるなど、影響が顕在化してきた。

また、猪苗代湖の水環境保全やエコファーマーの推進、性フェロモンの利用や減農薬栽培、有機栽培などに早くから取り組み、農業生産と環境保全を重視してきたこともあり、近年、地球温暖化に伴う農業への影響に関心が高まっている。

2 温暖化とみられる兆候

水稻を例に、最近の生育ステージと過去のデータを比較したところ、ひとめぼれの幼穂形成始期は、10年間で3日早く、出穂期は、3～4日、成熟期は2～4日前進化した。栄養生長期に相当する5月下旬から7月上旬までの旬別平均気温の平均値は、約1℃高かった。コシヒカリの幼穂形成始期は、郡山では15年間で5日早くなっており、会津坂下では10年間で2日早くなった。出穂期は、15年間で5日、成熟期は郡山で9日、会津坂下で2日早くなった。栄養生長期の旬別平均気温は、郡山では15年間で1.7℃、会津坂下では10年間で1.1℃、相馬では15年間で1.6℃高かった。

以上のことから、両品種とも郡山および会津では、栄養生長期の気温の上昇によって幼穂形成始期が前進し、それに伴って出穂期が前進していると考えられ、今後温暖化がさらに加速すれば生育ステージが前進化すると予想される。

表1 水稻栄養生長期の平均気温と生育ステージの変動

品種	年次	郡山				会津坂下				相馬			
		分けつ期	幼穂形成始期	出穂期(月日)	成熟期(月日)	分けつ期	幼穂形成始期	出穂期(月日)	成熟期(月日)	分けつ期	幼穂形成始期	出穂期(月日)	成熟期(月日)
ひとめぼれ	1995	19.2	7.15	8.10	9.20	19.7	7.12	8.05	9.18	18.3	7.11	8.07	9.15
	2000	20.0	7.14	8.06	9.17	20.2	7.11	8.04	9.17	19.1	7.08	8.04	9.15
	2005	20.3	7.12	8.06	9.18	20.7	7.09	8.02	9.14	19.0	7.10	8.04	9.18
コシヒカリ	1990	19.2	7.25	8.19	10.08	20.1	-	8.13	9.23	18.1	-	8.18	10.09
	1995	19.6	7.23	8.18	10.07	20.1	7.18	8.12	9.26	18.8	7.22	8.18	10.05
	2000	20.5	7.22	8.14	10.03	20.7	7.18	8.10	9.24	19.6	7.17	8.13	9.29
	2005	20.9	7.20	8.14	9.29	21.2	7.16	8.08	9.21	19.7	7.19	8.14	10.01

注) 数値は、当該年を含む前5年の平均値(月日)分けつ期; 5月下旬から7月上旬(コシヒカリは中旬)の平均気温(℃)

果樹では、前述のとおり生育ステージが早まる現象がみられるとともに、果実の着色不良や硬度の低下、ふじの成熟日数の増加などの現象が顕在化している。

表2 「つがる」の生育経過と硬度の変化
(福島県農業総合センター果樹研究所)

期間	発芽 (月日)	開花(盛) (月日)	収穫(盛) (月日)	成熟日数 (日)	果肉硬度 (1sb)
1981~1990年	3月29日	5月3日	9月7日	128	12.1
1996~2005年	3月26日	4月29日	9月1日	126	11.2

表3 「ふじ」の生育経過と硬度の変化
(福島県農業総合センター果樹研究所)

期間	発芽 (月日)	開花(盛) (月日)	収穫(盛) (月日)	成熟日数 (日)	果肉硬度 (1sb)
1981~1990年	3月31日	5月3日	11月13日	194	13.8
1996~2005年	3月27日	4月29日	11月18日	203	12.9

3 試験研究の取り組み

(1) 現象の把握、解析

上記の水稻や果樹の生育ステージの変化や玄米の品質などについて、主に農業総合センター(旧農業試験場、旧果樹試験場)の場内で蓄積した作況試験や定点観測のデータを利用して解析を試みる。

また、病害虫の動向については、農業総合センター安全農業推進部(旧病害虫防除所)が実施している定点観測データの中から水稻の主要病害虫を対象に、近年の発生状況を解析し、気温の関係について検討する。

(2) 温暖化の影響評価と対応技術の検討

ア 将来における温暖化の程度の定量化

温暖化が県内農業に及ぼす影響を検討するため、気象庁等が作成した温暖化シナリオに基づき、東北農業研究センターにご協力をいただきながら、県内の主要地点について将来の気温等の推定を行っている。

イ 主要作物への影響評価

農業総合センターに建設した温度勾配チャンバーと東北農業研究センターのグラジオトロンを利用して、水稻、モモ、リンドウ、アスパラガスを対象に温度が上昇した場合の生育ステージの前進をモデル化し、そのモデルを元に県内での影響の程度を検討する予定である。

ウ 対応技術の検討

既存の課題や独法のプロジェクト研究を利用して、高温時の栽培管理の効果や気温を下げる方法の検討、生育ステージの前進に伴う霜害の予報技術などについて検討する。

エ 温暖化のメリット・デメリット

温暖化の影響については、悲観的な情報が強調されることが多いが、一方で新たな品目の導入や有利な作型の可能性も指摘されており、両面からの検討が必要と考えている。

オ 行政への情報提供

現象の把握、解析結果や影響に対する技術対策については、随時行政機関に情報提供する。

4 今後の課題

(1) 解析手法

現象を解析するにあたって、毎年の年次変動と長期的な温暖化傾向を分けて検討する必要があるが、多くの場合ある期間を対象とした一次回帰等で評価しており、解析方法に疑問が残る。また、生育ステージのような現象は評価しやすく、再現実験も可能であるが、収量や品質への影響は、他の要因が複雑にからんでおり、試験が難しい。また、病害虫については、定点調査のデータを見る限り、長期的な変動を導き出すためには、新たなアプローチが求められる。

(2) 総合的な検討

本県の農作物は、トップのシェアを有するものが少なく、端境期に出荷できることから市場評価を得ている品目が多い。気温の上昇等によって全国的な市場での位置づけが変化した場合、経済的に成り立たなくなる品目が生ずると予想されることから、経済的な側面の検討も必要と考えている。

地球温暖化が寒冷地のコメ生産に及ぼす影響

下野 裕之(岩手大学)

急速に進行している地球温暖化とそれに伴う気候変動がコメ生産に及ぼす影響が懸念されている。今後、CO₂濃度は今世紀末までに倍増し、気温は1~6℃上昇することが予測されている(IPCC, 2007)。コメの生産性については、現在から1~3℃の気温上昇が進むと暖地においては低下するものの、寒冷地においては向上するという対照的な結論がつけられている(Easterling ら, 2007)。しかし、寒冷地においては、現在まで地球温暖化が進んでいるにもかかわらず、コメの収量変動は依然として高く、冷害(例えば 1993 年, 2003 年)による被害が発生し続けている。本発表では地球温暖化が寒冷地のコメ生産に及ぼす影響について最近に得られた知見を総説することで、地球温暖化イコール寒冷地の生産性の向上という一方向の考えに疑問を呈したい。

1. 「地球温暖化」といっても夏の気温が上昇していない寒冷地・北日本

「地球温暖化」といえば地域・季節を通じて一様に気温が上がるとの錯覚を覚える。しかし、過去のデータを見ると季節また地域により気温上昇の程度が異なる。特に北日本では冷害の発生に強く関わる夏(7~8月)の明瞭な気温の上昇が認められない(第1表)(下野, 2008)。この影響は農地においても認められることから都市化の影響ではないと考えられる。最近の大気循環モデルを用いた解析によると、将来においてもこの夏の気温の上昇幅が小さい傾向は維持されることが予測されている(Kurihara ら, 2005)。将来も夏の昇温が小さい傾向が持続したと仮定し、品種や栽培法をその環境に適応させない場合、春の昇温が発育ステージを前倒した結果、冷害に遭う確率を高めることが予測される(下野, 2008)。

第1表 過去70年間の月別平均気温の変化傾向(℃/10年)(1937~2006年)。

地点	年平均	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	0.25 ***	0.40 ***	0.36 ***	0.29 ***	0.26 ***	0.23 ***	0.22 ***	0.04 ns	0.04 ns	0.24 ***	0.31 ***	0.32 ***	0.33 ***
旭川	0.17 ***	0.32 **	0.29 **	0.26 ***	0.23 **	0.22 **	0.15 *	-0.05 ns	-0.03 ns	0.11 ns	0.14 *	0.26 ***	0.20 ns
八戸	0.17 ***	0.29 ***	0.30 ***	0.24 ***	0.20 **	0.14 ns	0.11 ns	-0.06 ns	-0.04 ns	0.17 *	0.21 ***	0.20 **	0.26 **
盛岡	0.14 ***	0.24 **	0.25 **	0.19 **	0.20 **	0.12 *	0.16 **	-0.03 ns	-0.03 ns	0.14 *	0.14 *	0.10 ns	0.24 **
仙台	0.21 ***	0.33 ***	0.33 ***	0.27 ***	0.27 ***	0.19 **	0.14 *	-0.02 ns	-0.01 ns	0.17 **	0.28 ***	0.26 ***	0.35 ***
秋田	0.21 ***	0.28 ***	0.32 ***	0.28 ***	0.27 ***	0.27 ***	0.19 ***	0.02 ns	0.06 ns	0.23 ***	0.24 ***	0.20 **	0.26 **
酒田	0.21 ***	0.28 ***	0.30 ***	0.25 ***	0.29 ***	0.32 ***	0.22 ***	0.04 ns	0.09 ns	0.18 **	0.19 ***	0.16 *	0.24 **
福島	0.13 ***	0.13 **	0.14 **	0.14 **	0.14 **	0.20 ***	0.10 *	0.07 ns	0.11 *	0.09 *	0.17 ***	0.15 ***	0.14 **
水戸	0.16 ***	0.23 ***	0.24 **	0.21 **	0.22 **	0.18 **	0.15 *	0.03 ns	0.08 ns	0.15 *	0.17 **	0.15 *	0.16 *
富山	0.19 ***	0.24 **	0.29 **	0.26 ***	0.27 ***	0.26 ***	0.14 **	0.05 ns	0.17 **	0.19 **	0.22 ***	0.16 *	0.13 ns
神戸	0.21 ***	0.26 ***	0.29 ***	0.22 **	0.27 ***	0.25 ***	0.26 ***	0.15 *	0.17 ***	0.22 **	0.23 ***	0.20 **	0.20 **
高知	0.24 ***	0.27 ***	0.28 **	0.19 **	0.26 ***	0.25 ***	0.25 ***	0.23 ***	0.24 ***	0.24 ***	0.25 ***	0.20 **	0.21 *
鹿児島	0.35 ***	0.39 ***	0.41 ***	0.31 ***	0.39 ***	0.35 ***	0.30 ***	0.26 ***	0.30 ***	0.34 ***	0.42 ***	0.37 ***	0.38 ***
平均値	0.20	0.28	0.29	0.24	0.25	0.23	0.18	0.06	0.09	0.19	0.23	0.21	0.24

値は温度と年次間の関係の線形回帰の傾きを10年単位に換算したものを示す。***, **, *, 0.1%水準, 1%水準, 5%水準で有意。ns; 有意でない。(下野, 2008)。

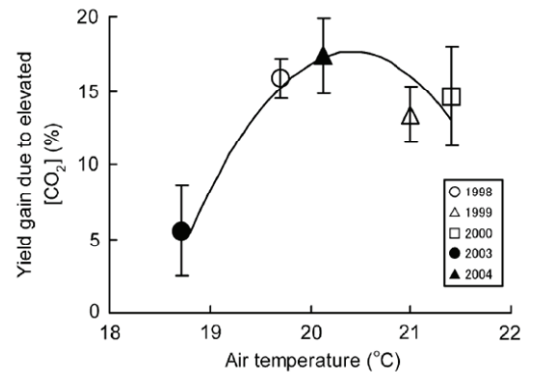
2. 高濃度 CO₂ は最適環境ではコメの生産性を向上させるが低温条件ではその効果が低下

イネを含めすべての植物は日射エネルギーを利用して大気中の CO₂ を固定することにより成長する。そのため大気中の CO₂ 濃度の上昇は植物の成長にとりプラスに働くことが古くから知られている。これまでの群落レベルでの試験の結果から CO₂ 濃度上昇によりイネの収量は環境ストレスのない条

件で10~20%程度増加(CO₂+200ppm上昇)することが報告されている(Kimら, 2003; Shimonoら, 2008)。また品種によりその程度が異なり高濃度CO₂により初期生育が促進されやすい品種は籾数の増加を介し収量を増加させやすいこと(Shimonoら, in press), 施肥窒素条件でみると多窒素条件が少窒素条件よりも高濃度CO₂による収量増加を引き出しやすいこと(Kimら, 2003)が明らかとなっている。

しかし、低温条件では高濃度CO₂による収量増加が抑制されることが最近になりわかってきた。第1図に生育期間の気温と高濃度CO₂による収量増加率の関係を示した(Shimonoら, 2008)。気温が20℃以上に高くなれば15%程度の収量増加が見込めるが、気温が19℃以下になると5%程度の増加までに小さくなる。その要因として、第一に高濃度CO₂条件での収量増加の主要因である籾数の増加が低温により制限されることが挙げられる。低温条件では高CO₂による光合成の促進が抑制され(Long, 1991; Borjigidaiら, 2006), その結果, 生育初期の乾物生産・窒素吸収の促進が抑制されるためと考えられる。第二に高濃度CO₂は穂ばらみ期耐冷性を弱め, 低温条件での不稔発生を増大させる。通常CO₂条件での不稔歩合と高濃度CO₂条件での不稔歩合の関係をみると高濃度CO₂で通常CO₂よりも不稔歩合が約15%増える。この圃場での観測結果は精密なポット試験により検証されている(Okadaら2005)。

以上、地球温暖化が寒冷地のコメ生産に及ぼす影響をみてみると必ずしも高める方向に作用しないことが示された。今後、進行している地球温暖化が寒冷地・北日本の気象にどのように影響を及ぼすか不明な点が多いが、毎年のように観測史上を塗り替える異常気象が発生している現在、いつ「サムサノツ」(=冷害)が来てもよいように冷害研究を推し進める必要があるものとする。



第1図. 高濃度CO₂による収量増加率(%)と生育期間中の気温の関係(品種, あきたこまち). (Shimonoら, 2008)

3. 地球温暖化による異常気象下で寒冷地のコメ生産安定化に向けた新たな技術シナリオ

イネが寒冷地に導入されて以来、冷害は克服すべき最も重要な要因であり続けている。冷害対策は、育種と栽培技術が両輪となり推し進めてきた。育種面では着実に穂ばらみ期耐冷性の強化を進めることで一定の効果をあげており、現在も精力的に耐冷性の向上を目指し育種が行われている。例えば宮城県古川試験場では熱帯などのより広い遺伝資源由来の耐冷性遺伝子を品種「ひとめぼれ」に集積することで飛躍的に耐冷性を高めようとする試み(ジーンピラミディング)が行われている(永野, 2007)。一方、栽培技術については1980年代以降から停滞しているのが現状である。1980年代までに確立された技術として、窒素の多施用が穂ばらみ期の耐冷性を弱めること(天野ら, 1984)から危険期前の施肥量を制限するように指導されている。また水管理については、幼穂形成以降の発達中の幼穂を気温より温かい水温で保温する「危険期深水灌漑」(酒井, 1949)と「前歴期深水灌漑」(Satakeら, 1988)が開発・普及されている。しかし、現在までのところ、これらの栽培技術ならびに耐冷性品種を用いても寒冷地の冷害を完全に克服するに至っていない。

最近になり演者の研究グループで幼穂形成以前の水温が耐冷性に作用することを発見した(Shimonoら, 2007; Shimonoら, 2008; 神田ら, 2008)。これまでは幼穂形成以前の温度環境は耐冷

性に作用しないということが常識とされていたが、この知見により幼穂形成以前(すわち栄養成長期)の水温を高めることで植物体の体質を改善し耐冷性を高めうることが示された。これまでの水管理については、前述したように幼穂形成以降に注意を払ってきたが、それ以前の水管理を中心とした新たな技術シナリオが策定することでイネの体質を改善し冷害による被害を抑えることが可能かもしれない。世界のイネ生産の北限近くに位置する北海道・東北が連携して研究を進めることで、これまで不明であった冷害発生メカニズムをも解明するヒントになることが期待される。

引用文献

- 天野ら(1984)日本作物学会紀事 53: 1-6.
Borjigidai ら(2006)Annals of Botany, 97: 549-557.
Easterling ら(2007)IPCC 4th report.
IPCC(2007).
神田ら(2008)日本作物学会紀事 77(別 2): 204-205.
金ら(1996)日本作物学会紀事 65: 634-643.
Kim ら(2003)Field Crops Research 83: 261-270.
Kurihara ら(2005)SOLA 1: 97-100.
Long (1991)Plant, Cell & Environment 14: 729-739.
永野(2007)RurcaNews 岩手大学.
Okada ら(2005)Journal of Agricultural Meteorology 60: 589-592.
酒井(1949)農業と園芸, 24: 405-408.
Satake ら(1988)日本作物学会紀事 57: 234-241.
下野(2008)日本作物学会紀事 77: 489-497.
Shimono ら(2007)Field Crops Research 101: 221-231.
Shimono ら(2008)Global Change Biology 14: 276-284.
Shimono ら(2008)Plant Production Science 11:430-433.
Shimono ら(in press)Journal of Experimental Botany.

Rice FACE実験の成果と今後の課題

岡田益己・下野裕之 (岩手大学農学部)

1. Rice FACE実験

IPCCⅢの予測では、今世紀中に大気CO₂濃度が540~970ppmに、また温度が現在よりも1.4~ 5.8℃上昇する。このような気候変動が農業生産や農業生態系に及ぼす影響を解明し、気候変動に適応できる栽培技術を開発することが重要である。チャンバー実験では、群落や生態系レベルの反応を把握するのが難しく、チャンバー固有の環境改変(chamber effect)の影響も避けられない。FACE(開放系大気CO₂増加)は米国で提唱・開発された実験手法のアイデアで、オープンフィールドでCO₂濃度を高めて、実際の圃場レベルでどのような変化が起こるかを解析する。水田における世界初のFACE実験場を、岩手県雫石町の農家水田に建設した。実験区の大きさは直径が約12m(図1)。周囲を8本のガス放出チューブで囲い、風上のチューブからCO₂ガスを放出する。リング中央のCO₂濃度を周囲大気よりも200ppm高く維持する。このようなFACE(高濃度CO₂)区と対照区、各4反復を100mの距離をあけて設置した。

1998年から2008年まで、計7シーズンの実験を実施した。国内外十数の研究機関から、作物、生理、気象、土壌、病害、微生物などの専門家が参画して、プロジェクト研究を展開した。ここでは2004年までの成果を中心に紹介する。

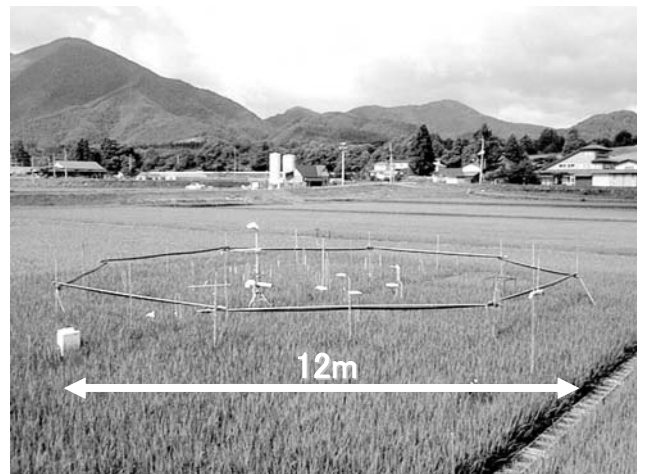


図1. Rice FACE 実験場と FACE リング

2. イネの生長と水田生態系に及ぼす高濃度 CO₂の影響

Rice FACE実験やこれまでの研究から、高濃度CO₂により、

- 1) 光合成が促進され、イネの乾物生産や収量が増加
- 2) コメのタンパク含量が低下(食味向上?)するが、ミネラル含量は変わらない
- 3) 倒伏が軽減
- 4) 穂ばらみ期低温や開花期高温による不稔や登熟期高温による白粒が増加
- 5) 出穂が早まる品種と早まらない品種
- 6) いもち病や紋枯病が増加
- 7) 水田からのメタンガス発生量が増加
- 8) 群落温度の上昇と水利用効率の増大

などが明らかになってきた。これらの中から、2, 3の話題を紹介する。

1) 乾物生産と収量

高濃度CO₂による増収効果は、窒素施用量によって大きく異なる。標準から多窒素条件では10~15%増収するが、少窒素条件では5%程度の増収にとどまる。窒素施用量を大幅に増しても、増収効果は最大約20%で頭

打ちになる(図2)。高濃度CO₂の乾物促進効果は、生育中期までは高いが、生育後期に著しく低下する。窒素吸収量に及ぼす高濃度CO₂の作用も同様のパターンを示す。老化あるいはCO₂適応と呼ばれる現象だが、そのメカニズムはまだよく分かっていない。施肥管理や品種によって老化を抑制することができれば、高濃度CO₂環境に適応する画期的な栽培技術となると期待されるが、まだ確証は得られていない。

2) 穂ばらみ期低温障害

チャンバー実験から、高濃度CO₂下で穂ばらみ期の低温による障害型不稔が増加することが示唆されていたが、2003年の冷夏でFACE実験でもこれが検証された(図3)。不稔歩合の増加と籾数の増加が並行して起こるため、高濃度CO₂による籾数増加(増収)効果が、冷害時にはキャンセルされる。

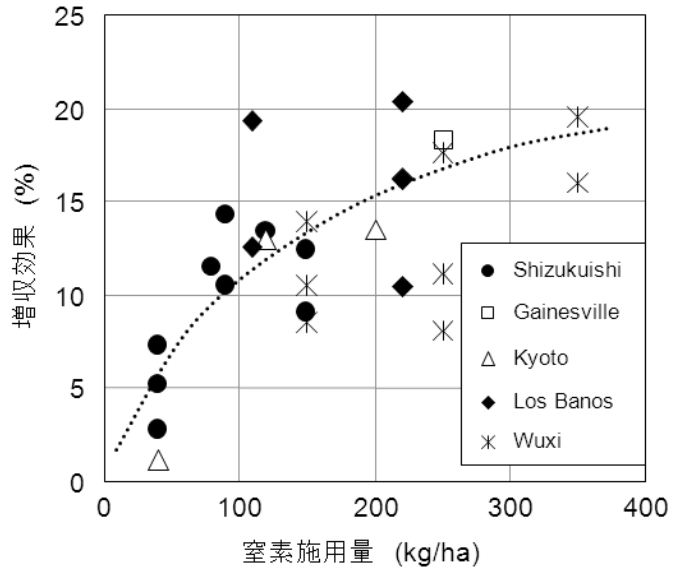


図2. 高濃度CO₂の増収効果に及ぼす窒素施用量の作用 (Kim ら, 2003 他から作図)

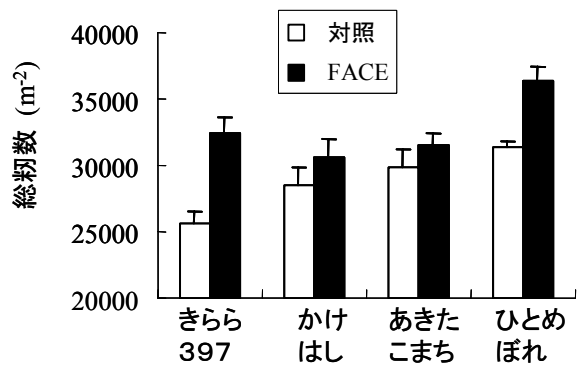
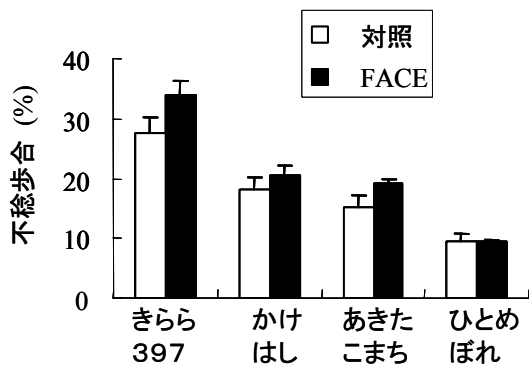


図3. 穂ばらみ期低温による不稔歩合(左)と総籾数(右) (Okada ら, 2005)

早生品種ほど感受性の高い期間の気温が低い

3) いもち病、紋枯病

高濃度CO₂はイネの体質や形態を変化させる。これにより、病害の感受性も変わる可能性がある。FACE実験のイネにいもち病菌を接種したところ、いもち病の増大が確認された(表1)。FACE区で病斑数が増加した年次では、イネ葉のケイ酸含量が有意に低い(1998, 2000, 2004年)。イネの根はケイ酸を積極吸収するが、その茎葉への分配は蒸散流に依存する。高濃度CO₂下では気孔が閉じ気味となるので、蒸散量が低下する。その結果、葉へのケイ酸輸送が減少し、ケイ酸濃度が低下するため、いもち病の感受性が高まると考えられる。

高濃度CO₂下では、紋枯病も増大した(表2)。高濃度CO₂により、分けつ数が顕著に増加する。このため株元が乾きにくくなり、紋枯病の感染・進展を助長すると考えられる。

表1. いもち病の株当たり病斑数と接種時最上位葉のケイ酸含量 (%) (Kobayashiら, 2006に追加)

年次		分けつ期接種		幼穂形成期接種	
		対照区	FACE区	対照区	FACE区
1998	病斑数	86.9	142.9	24.3	33.8
	ケイ酸含量	4.77	4.04	4.87	4.23
1999	病斑数	26.3	26.7	5.9	6.1
	ケイ酸含量	4.27	4.49	4.35	4.06
2000	病斑数	17.8	24.9	7.1	9.3
	ケイ酸含量	4.12	3.46	4.77	3.72
2003	病斑数	2.8	8.3	—	—
	ケイ酸含量	4.56	3.75	—	—
2004	病斑数	53.1	61.8	—	—
	ケイ酸含量	3.75	3.59	—	—

4)メタン

高濃度CO₂には、「植物から土壌への炭素の流れが増え、微生物のメタン生成が増加」、「植物の茎数や葉面積が増え、植物経由のガス輸送が速まる」というメタン放出を増大させる作用と、「植物の根が増え、メタンの酸化が促進」、「土壌表面に藻類が増え、メタンの酸化が促進」という放出を減少させる作用がある。現在では、前者の増大作用の方が大きいという理解が、一般的である。従って、大気CO₂濃度上昇がイネの生育を通して、メタン放出を増大させる懸念が大である。

3. 今後の課題：温暖化+高CO₂影響の解明

生長モデルを使った予測では、「温暖化(温度上昇)により生育期間が短縮して収量が減少する。

一方、CO₂濃度上昇による増収効果がこれを補うだろう」と言った議論が多い。しかし実際の作物生産プロセスは、そんなに単純だろうか。温度が上昇すれば、地力窒素の発現が高まり、窒素吸収が盛んになることは、周知の事実である。窒素発現量が多ければ増収する。温度-窒素-CO₂濃度の相互作用の解明はもちろんだが、その相互作用に品種や施肥・水管理などの栽培技術がどのように作用するかを明らかにしていくこと、またそれらの作用を実験的に検証していくことが、将来の環境に適用できる生産体系の確立に重要である。

表2. 紋枯病の発病株率 (%)とイネの分けつ数 (Kobayashiら, 2006)

年次		対照区	FACE区
1999	発病株率	3.2	10.1
	分けつ数	27.7	32.7
2000	発病株率	20.1	40.3
	分けつ数	29.3	35.1

表3. 水田FACE実験におけるメタン放出量の変動 (gC/m₂) (Inubushiら, 2003, Hoqueら, 未発表)

年次	対照区	FACE区	FACE区/対照区
1999	11.98	16.46	1.37
2000	5.76	8.69	1.51
2004	10.11	11.27	1.11

微気象学的方法による陸域生態系の炭素吸収量の推定

－わかることとわからないこと－

平野高司（北海道大学大学院農学研究院）

現在、世界の様々な陸上生態系において微気象学的方法（渦相関法）による CO₂ フラックスの長期・連続観測（モニタリング）が行われている。CO₂ フラックスとは単位地表面積当たりの CO₂ 鉛直輸送速度であり、大気と生態系の中の CO₂ 交換速度に相当する。CO₂ フラックスを観測することにより、正味生態系 CO₂ 交換量（NEE）、生態系光合成量（GPP）、および生態系呼吸量（RE）などの生態系の環境機能に関する情報を得ることができ、陸域生態系の CO₂ 収支の定量評価が可能になる。微気象学的方法を用いると、高い分解能（30 分間～1 時間）で比較的広い範囲（100m²～1km² 程度）の代表値を自動で連続的に得ることができる。赤外線ガス分析計（IRGA）やデータロガーなどの性能の向上にともない、渦相関法によるフラックスモニタリングが可能になった。

1990 年代以降、地球規模での炭素収支・炭素循環に及ぼす陸域生態系の役割を評価する目的などから、CO₂ フラックスの観測サイトが急速に増加してきた。1990 年代後半には、これらの観測サイトのネットワーク化が進み、西欧では 1996 年に EUROFLUX プロジェクトが、また米国では 1997 年に AmeriFlux がスタートし、これらが母体となって世界規模でのフラックス観測ネットワーク（FLUXNET）が 1997 年に設立された。アジア地域においても、日本の研究者の主導により 1999 年に FLUXNET のリージョナルネットワークとして AsiaFlux が組織され、ワークショップの開催やニューズレターの発行などの活動を続けている。さらに 2006 年には、日本の国内ネットワークとして JapanFlux (<http://www.japanflux.org/>) が発足した。JapanFlux は日本の研究者におけるフラックス観測・研究ネットワークで、観測サイトの管理・運営を行っている研究者（データ提供者）だけでなく、リモセンや生態系モデルなどの研究者（データ利用者）も含んでいる。

すでに 15 年以上のモニタリングデータを蓄積している観測サイトも現れてきている（北米の Harvard forest や岐阜県の高山サイトなど）。長期の観測データをもとに、森林の成長にともなう正味 CO₂ 吸収量（NEP）の増加や、エルニーニョ現象にともなう暖冬により森林のフェノロジー（展葉時期）が早まり成長期間が長くなって NEP が増加する、などの事例が報告されている。また、高い時間分解のデータを利用して、GPP や RE の様々な環境応答特性も明らかになってきた。さらに、各ネットワークで整備されているデータベースを利用して、CO₂ 交換特性のサイト間比較や統合解析が行われるようになり、気候や植生タイプの違いにより GPP や RE がどのように変化するのか、といったことが明らかになりつつある。このように、研究が進むにつれて多くの知見が得られてきたが、一方で観測手法（渦相関法）や解析法に関する問題点が未解決のまま残されている。例えば、1) 複雑地形への適用、2) 夜間のフラックスの不確実性、3) エネルギー（熱）収支が閉じない、4) オープンパス型ガス分析計（IRGA）の問題、5) 昼間の RE の推定、などである。今後（近い将来）のフラックス研究の課題は、このような技術的な問題点を解決するとともに、1)

環境攪乱（火災や土地利用変化など）が CO₂ 収支に与える影響の評価，2) CO₂ 以外の微量ガス（BVOC，CH₄，N₂O，O₃，炭素同位体など）フラックスの観測，3) 極端な気象現象（干ばつ，熱波，寒波，台風など）に対する GPP および RE の応答，4) データベースを利用した統合的，広域的な研究，5) 地下水流動などにもなう炭素フラックスも含めた炭素収支の評価（フルカーボンアカウンティング），などがあるだろう。このような課題を解決するには，いわゆるフラックス観測・研究のみでは不十分であり，他分野（例えば，生態学，リモセン，生態系モデル，土壌学など）との連携が不可欠である。JapanFlux では，日本長期生態学研究ネットワーク（JaLTER），宇宙航空研究開発機構（JAXA）および海洋開発研究機構（JAMSTEC）との連携により，陸域生態系の炭素収支・炭素循環に関する研究を推進していく予定である。

北日本（東北，北海道）には 10 ヶ所以上の観測サイトが存在する。それらは，カラマツ植林地（北大天塩研究林（CC-LaG）），落葉広葉樹林（北大雨竜研究林，北大苫小牧研究林，FFPRI FluxNet（羊ヶ丘，安比）），針広混交林（北大雨竜研究林），カラマツ林風倒跡地（苫小牧 FRS），湿原（サロベツ），牧草地（GHGG（中標津，静内））などであり，森林を中心に農地や湿原も含んでいる。また，森林施業（伐採，植林）や自然災害（風倒害）による攪乱を受けた場所も含まれている。これらの観測サイトで得られるデータから温暖化の影響を直接評価することは困難であるが，生態系炭素循環モデルのパラメータ化や検証を通じて，気候変動・温暖化研究に貢献できると考える。なお，森林の土壌呼吸速度に与える温暖化の影響を評価するために，大型の自動開閉チャンバーシステムを用いた野外実験が，北大天塩研究林などで梁乃申博士（国立環境研究所）らによって実施されている。

簡易渦集積法を用いた水田におけるメタンフラックスの測定
—北海道での事例—

・ 矢崎友嗣(北農研・旧明大農)・永田修(北農研)・三國孝博(北農研)・
登尾浩助(明大農)・広田知良(北農研/北大院農)

1. はじめに

2005年2月から「地球温暖化防止に関する京都議定書」が発効し、我が国は2012年までに1990年の基準年に対して温室効果ガスの排出の6%削減を課せられた。数種の温室効果ガスのうち、特にメタン(CH₄)と亜酸化窒素(N₂O)は発生源の60-70%が農業由来であると報告されており(環境省、2005)、これらのガス排出削減が求められている。農耕地からの温室効果ガスフラックスの測定は多くが密閉チャンバー法で行われているが、ガスフラックスは同一圃場内でも大きくばらつくことが知られており(例えば、Katayanagi and Hatano, 2005)、ガス排出量の精緻化や広域評価が課題となっている。

温室効果ガスフラックスの微気象学的手法による測定は、一筆単位の圃場内の平均的なフラックスを評価できることから、ガスフラックスの定量化や広域評価に有望な手法といえる。近年CO₂や水蒸気フラックスは渦相関法による測定が普及しているが、CH₄やN₂Oは、ガス濃度の高速サンプリング装置が普及しておらず、渦相関法による測定は困難である。本研究では、ガス濃度の高速サンプリングを必要としない、簡易渦集積法(Relaxed Eddy Accumulation(REA) method)を用いて、水田からの温室効果ガス(CH₄、N₂O)の測定が可能か検討した。

2. 方法

2.1 簡易渦集積法と感度分析

簡易渦集積法(Businger and Oncley, 1990)は、上向き気流のガス濃度と下向き気流のガス濃度の平均値の差からフラックスを計算する手法である。ガスフラックス F (mg m⁻² hr⁻¹)は、以下の式で計算される:

$$F = 3600 \times \beta \sigma_w (C_U - C_D) \quad \dots (1),$$

ただし、 σ_w は、鉛直風速の標準偏差(m s⁻¹)、 C_U と C_D はそれぞれ、上向き気流時と下向き気流時のガスの平均濃度(mg m⁻³)である。係数 β は0.6とした。本研究では測定に先立って、ガス濃度の分析精度が、計算されるガスフラックスにどの程度変化するか、感度分析によって検討した。

2.2 水田におけるガスフラックスの測定

北海道岩見沢市の低位泥炭に約30cm 鈹質土壌が客土された連作水田において、2008年6月23日から9月11日にガスフラックスを測定した。上向き気流と下向き気流のガスを別々に集めるために、図1に示すような装置を水田に設置した。水田表面から2.0mの高さに設置した超音波風速計が上向き気流・下向き気流を検知し、2つの電磁弁が交互に開閉しガスを振り分ける仕組みになっている。振り分けられた上向き気流時と下向き気流時のガスを、30分間かけて5Lのテドラーバッグに溜めた。ガス濃度はガスクロで測定した。また、観測期間内の高度2.0mの気温と湛水深を、通風乾湿計とTDR水位計(矢崎ら、2008)で測定した。

3. 結果と考察

3.1 ガスフラックスの分析精度

図2は、気温 25°C、気圧 1013 hPa として、下向き気流時のガス濃度を CH₄ で 2.00 ppm、N₂O で 0.300 ppm としたときの、上向き気流時の平均ガス濃度の変化に対するフラックスの変化である。ガスクロの分析精度がガス濃度の 0.5%とすると、CH₄ と N₂O のフラックスは最大でそれぞれ ±7.5 mg m⁻² hr⁻¹、±3 mg m⁻² hr⁻¹ 変動すると予想された。この変動範囲は、水田の CH₄ フラックスの報告値の範囲内であったが、N₂O フラックスの報告値の範囲を大きく超えた。したがって、REA 法でガスを採取しガスクロで分析する手法は、CH₄ フラックスであれば適用できるが、N₂O フラックスは適用が困難である。

3.2 水田におけるメタンフラックス

図3に REA 法で測定された CH₄ フラックスと湛水深の変化を示す。移植から約 1 ヶ月後の 6 月下旬にフラックスが最大(約 20 mg m⁻² hr⁻¹)で、落水後にはゼロ付近まで小さくなった。同じ水田での 2003 年の密閉チャンバー法による測定の結果、放出は 8 月上旬に最大 (約 60 mg m⁻² hr⁻¹) であった。フラックスのオーダーが同じで落水後のフラックス低下も検出していることから、測定値は妥当であると考えられる。REA 法を用いれば圃場単位の平均的なフラックスが測定できるため、温室効果ガスフラックスのモニタリングの精緻化や広域評価への応用が期待される。

謝辞 北海道岩見沢市の太田寛氏より測定

圃場として水田を使用させて頂いた。北海道農業研究センターの根本学博士には測器設置の際、有用な助言を頂いた。本研究は、日本学術振興会科学研究費補金(基盤研究(A)(18208021)及び若手研究(B)(19780183))の補助を受けている。記して謝意を表す。

引用文献 環境省、2005. 2004 年度温室効果ガス排出量速報値について. , Katayanagi, N., and Hatano, R., 2005. *Phyton* **45**, 309-318. , Businger, J.A. and Oncley, S.P., 1990. *J. Atmos. Ocean. Technol.* **7**, 349-352. , 矢崎友嗣・庄子侑希・登尾浩助, 2008. TDR 法による水田湛水深の経時測定. *土壌の物理性* **109**, 57-65.

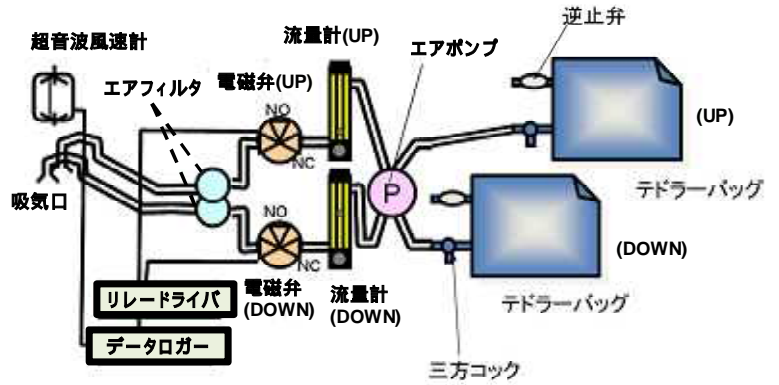


図1. REA法でのガス採取装置の模式図

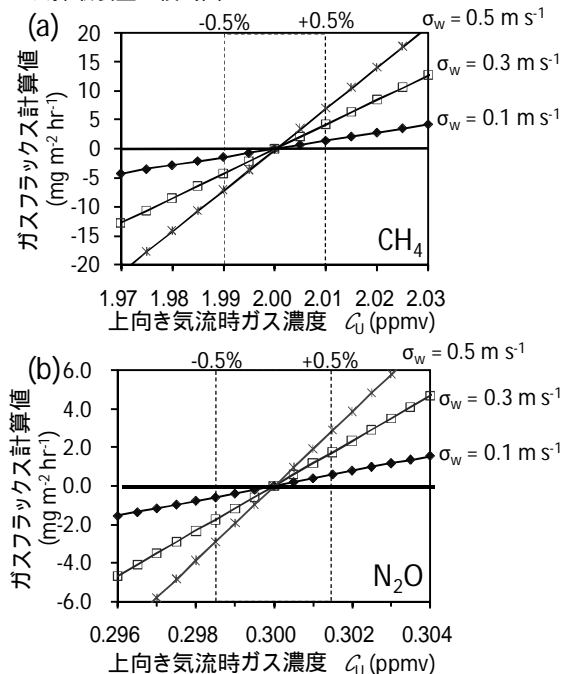


図2. (a)CH₄と(b)N₂Oのフラックスの感度分析

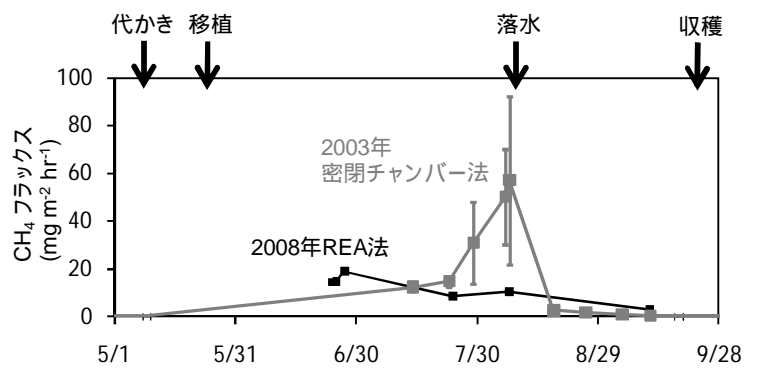


図3. 水田におけるメタンフラックス. 密閉チャンバー法のエラーバーは、3反復の標準偏差.

カラマツ林倒壊跡地における生態系 CO₂ 交換量の季節変化と環境応答特性

○鬼頭宏幸・佐野智人・平野高司（北大農）・梁乃申（国環研）・藤沼康実（鳥取環境大）

1. はじめに

台風などの自然災害による大規模な自然攪乱は、森林生態系の環境を大きく変化させ、その地域の炭素循環にも影響を及ぼす。地球温暖化にともなう台風の大型化が予測されており(IPCC4)、今後、このような被害は増加すると考えられる。本研究では台風にともなう強風によって倒壊被害を受けたカラマツ人工林跡地において、大型チャンバーを用いて生態系 CO₂ 交換量(NEE)を連続観測し、炭素収支を定量的に評価することによって、その季節変化を解析するとともに環境要因との関連性について検討した。

2. 方法

(1) 観測サイト 苫小牧国有林の風倒害跡地において観測を行った。本来は樹齢約 45 年のカラマツ人工林であったが、2004 年の台風 18 号により樹木のほとんどが倒壊した。その後、木材利用の目的でカラマツの幹部分が搬出された。現在、エゾイチゴを中心とした植生が繁茂している。

(2) 測定方法 大型の自動開閉式チャンバーを用いて、2007 年 5 月 7 日から 11 月 12 日まで CO₂ フラックスを連続観測した。チャンバーは透明 PVC 製の直方体で、底面積は 0.9×0.9 m² であり、植生を含めた地表面上に 4 台(高さ 0.9 m)、土壌呼吸量(R_s)を評価するため、植生を刈り取った場所に 2 台(高さ 0.5 m)、切り株呼吸量(R_{cWD})を評価するため、裸地上に切り株を搬入した場所に 2 台(高さ 0.9 m)それぞれ設置した。 R_{cWD} は、測定値から R_s を引くことで求めた。各チャンバーは、エアポンプ内臓の流路切り替え器を通じて赤外線 CO₂ 分析計(LI820, Licor)につながっており、データロガー(CR10X, CSI)によって観測システムの制御およびデータの記録を行った。チャンバーの天井は測定時のみ閉鎖される。8 台のチャンバーを 30 分かけて順次閉鎖し、閉鎖時におけるチャンバー内の CO₂ 濃度変化を測定した。また、地温(1cm 深)、切り株内部の温度(1, 5, 12cm 深)、土壌水分、光合成有効量子束密度(PPFD)などの連続観測も行った。

(3) 解析方法 チャンバー内の CO₂ 濃度変化から下記の式を用いて NEE を計算した。

$$NEE(\mu \text{ mol/m}^2/\text{s}) = \frac{V}{[0.0224 \times (273.2 + T_c) / 273.2]} \times \frac{1}{A} \times \frac{dc}{dt} \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 V はチャンバーの体積、 A はチャンバーの底面積、 T_c はチャンバー内の気温、 dc/dt は CO₂ 濃度変化を表す。NEE は生態系呼吸量(RE)と総光合成量(GPP)の差($NEE = RE - GPP$)であり、値が正のときは CO₂ の放出、負のときは吸収を表す。式①の NEE は、植生のチャンバーでは NEE を意味するが、裸地のチャンバーでは R_s を、切り株のチャンバーでは $R_s + R_{cWD}$ を意味する。また、夜間は光合成を行わないため $NEE=RE$ となり、地温、土壌水分と夜間 NEE (RE) との関係を用いて Irvine and Law (2000) の式で近似した。得られた近似式より日中の RE を推定し、NEE との差から GPP を推定するとともに欠測補間を行った。 R_s についても同様に欠測値を補間した。

3. 結果と考察

(1) 地温と RE, R_s , 切り株温度と R_{CWD} の関係 RE と R_s は地温とともに指数関数的に増加した(図 1)。また, R_{CWD} も切り株温度とともに指数関数的に増加した(図 2)。しかし, 測定深度による違いはほとんどなかった(図 2)。

(2) 土壌水分と RE, R_s の関係 図 1 から, 地温が 20°C 以上で RE と R_s のばらつきが大きいことがわかった。そこで, 地温が 20°C 以上のときの土壌水分と RE, R_s との関係を示す(図 3)。図 3 から RE と R_s は土壌水分とともに増加する傾向を示した。以上より, RE と R_s は高温条件において土壌水分の影響も受けることがわかった。

(3) 季節変化 RE は 8 月に, GPP は 6 月に最大となった(図 4)。NEE が 5 月から 7 月にかけて負になったのは, 植生の成長にともない GPP が増加したためであり, 逆に 8 月以降に正になったのは, 植生の光合成能力の低下による GPP の減少を RE が上回ったためと考えられる。また, RE と同様に, R_s と R_{CWD} はそれぞれ, 地温, 切り株温度が最高となる 8 月に最大となった。

(4) 積算値 風倒害前後における RE, GPP, NEE, R_s , R_{CWD} の 5 ヶ月間の積算値(6/13~11/12)を表 1 に示す。風倒害前(2001~2003 年の平均)の NEE は -245 gC m^{-2} , 風倒害 2 年後(2006 年)は 104 gC m^{-2} , 風倒害 3 年後(2007 年)は 42 gC m^{-2} であった。2004 年の台風によって, 本サイトは炭素シンクからソースに変化した。植生の再生にともない徐々にシンクへと変わりつつあることがわかった。

4. まとめ

CO_2 フラックスを連続観測することによって, NEE や GPP, RE の季節変化が明らかとなった。また, 風倒害前後の積算 NEE を比較することによって, 台風による自然かく乱はその地域の生態系を変化させ, 炭素収支に影響を及ぼすということが示された。地球環境の変化が予測されている中で, 今後, このような炭素収支に関する更なる研究が求められるであろう。

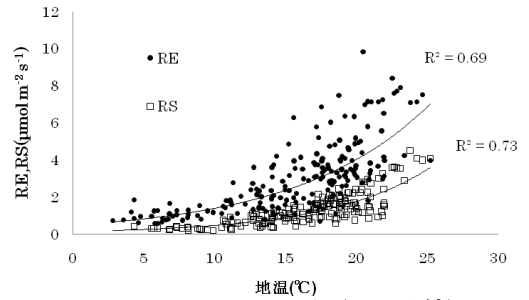


図1 地温と RE, R_s の関係(日平均値)

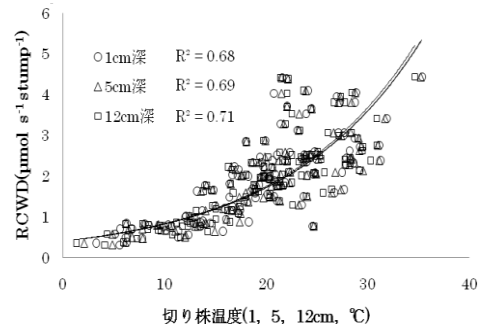


図2 切り株温度と R_{CWD} の関係(日平均値)

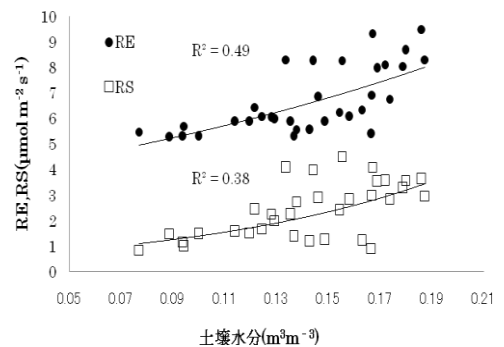


図3 土壌水分と RE, R_s の関係
(地温 $\geq 20^\circ\text{C}$, 日平均値)

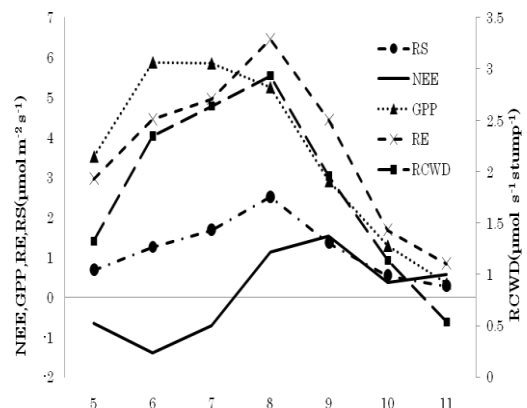


図4 NEE, GPP, RE, R_s , R_{CWD} の季節変化(月平均値)

表1 積算値(gC m^{-2})

	RE	GPP	NEE	R_s	R_{CWD}
2001~2003	1125	1370	-245		
2006	711	607	104		
2007	664	622	42	225	15

台風といった自然災害による森林生態系の環境変化を定量評価するため、北海道苫小牧市の国有林内にあるカラマツ人工林跡地にて2007年5月7日から11月12日まで大型チャンバーを用いて、CO₂フラックスの季節変化および環境要因との関連性について検討した。その結果、土壌呼吸量は地温と大きく関係し、高温条件においては土壌水分との関連性が高いことがわかった。また、観測前のフラックスデータと比較することで、本サイトは風倒被害により炭素シンクからソースへと変化したことがわかったが、植生の再生により炭素シンクへと戻りつつあることがわかった。

釧路湿原におけるハンノキ林侵入が泥炭の生成・分解に与える影響

○泉谷一樹・岡田啓嗣・浦野慎一・山田浩之・伊藤亨(北大院農)

矢部和夫(札幌市大)

1. はじめに 釧路湿原は日本で現存する最大の湿原であり、貴重な動植物が多数生息している。近年、特に1970年代から現在にかけて湿原内にハンノキが大量に侵入し、湿原の生態系に対する悪影響や景観の劣化などが危惧されている。湿原は独自の炭素収支をもち、大量の炭素を貯留しているが、ハンノキ侵入はこのバランスを崩す可能性がある。本研究では湿原生態系の炭素循環において重要な土壌呼吸や生長量などを測定し、ハンノキ侵入による泥炭生成分解への影響を検討する。

2. 方法 観測は釧路湿原の南西部に位置する温根内地区のハンノキ林・フェンの2サイトと釧路湿原の南東部に位置する広里地区のハンノキ低木林(非伐採区)・ボグ(伐採区)の2サイト、計4サイトでを行った。温根内・広里地区のハンノキ林は共に湿原に侵入したハンノキ林である。温根内地区の2サイトは築堤から50mの地点(フェン:B0)と、500mの地点(ハンノキ林:B11)を観測サイトに設定し、広里地区の2サイトは、築堤から約2kmの位置にあるハンノキ低木林内で試験的にハンノキを伐採したボグ(伐採区)とハンノキ低木林(非伐採区)を観測サイトに設定した。



図1、観測サイトの概要

各地点で自動開閉チャンバー(各3台)をホロー部分に設置し土壌呼吸速度を、熱電対で地温(5深度)を測定した。期間期間は温根内地区では2006年7月16日~8月31日、2007年6月14日~8月31日、2008年7月11日~11月17日。広里地区では2008年7月11日~11月17日で、また刈り取り法とリタートラップ法(ハンノキ林のみ)により生長量を測定した。(温根内:06年-08年、広里:08年)

温根内地区の2地点の野外観測における土壌呼吸速度と5深度の地温、また地温に時間差(ラグ)を設定したもの(1,2,3,4時間)から指数関数近似により土壌呼吸モデルを作成した(野外観測モデル)。また両地点の表層でサンプリングした泥炭をアクリルチャンバーに入れ、インキュベータ内で泥炭の温度を変化させて、温度と呼吸速度の関係を調べた。得られた結果から単位乾燥重量あたりの土壌呼吸モデルを作成した(泥炭分解モデル)。

3. 結果と考察 野外観測における土壌呼吸速度は地温と同様の明確な季節変化を示した(図2)。日変化については4地点ともに、夕方から夜間にかけての土壌呼吸速度と地温の増加が全期間を通じて見られたが(図5)、秋季のボグに関しては、昼に呼吸量が高くなる日変化を示した。モデルより土壌呼吸速度は地温に対し

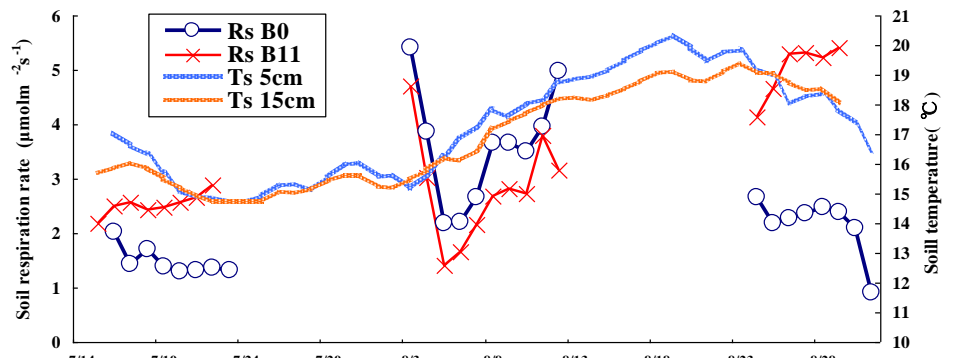


図2、温根内地区の土壌呼吸と地温の季節変化(06)

指数関数的に増加することが示され、また、各深度の指数近似直線の決定係数 R^2 値を求めた結果、フェンでは 5cm 深、ハンノキ林では 15cm 深の地温と深く関わっていることがわかった。野外観測、室内実験による泥炭分解モデルの結果からも B11 の呼吸量が大きいことがわかった (図 7・8)。またフェンとボッグ共にハンノキ林のほうが呼吸量が大きい、ボッグの呼吸量はフェンで観測されたものよりも小さかった(図 3.4)。この差が生じる原因はフェンとボッグの泥炭質の違いや、気象条件の違いなどが考えられるが、はっきりとしたことはわからない。広里地区のボッグと低木林の呼吸量について地温との関係を調べたところ、ボッグ・低木林共に 5cm 深地温との関連が強かったが、0cm 深地温との R^2 値の差は非常に小さかった。さらに呼吸量はボッグにおいては地温に対し負の相関を示し、低木林は温度に対し指数関数的に増加した(図 6)。生長量に関して、乾燥重量で比較すると、フェン (0.63kgm^{-2}) とボッグ (0.66kgm^{-2}) ではそれほど違いは見られなかった。

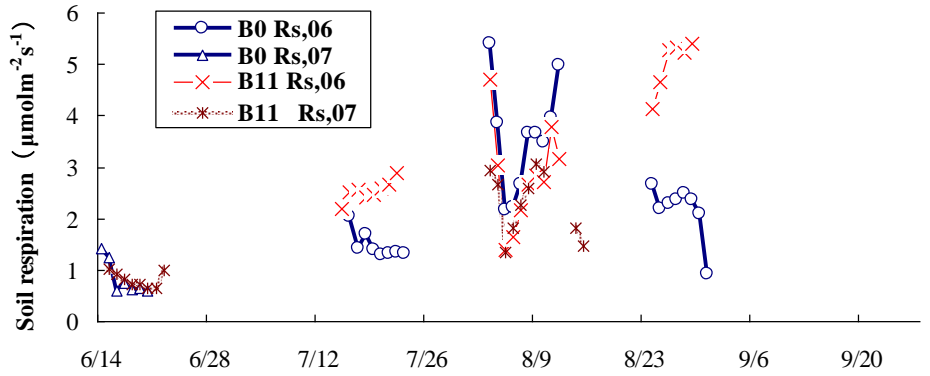


図 3、温根内地区の土壤呼吸の季節変化 (06・07)

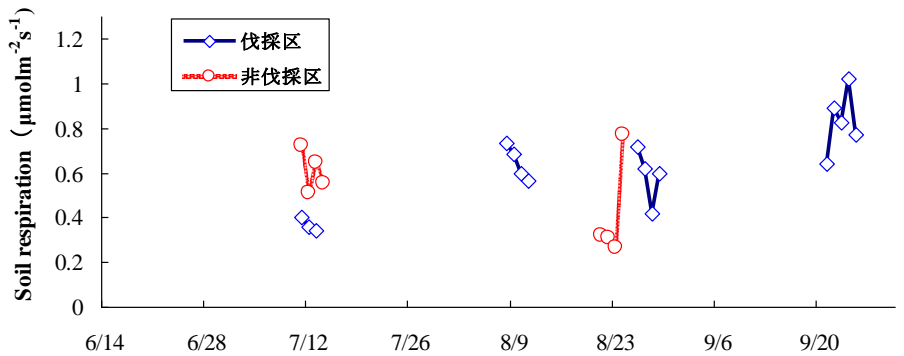


図 4、広里地区の土壤呼吸の季節変化 (08)

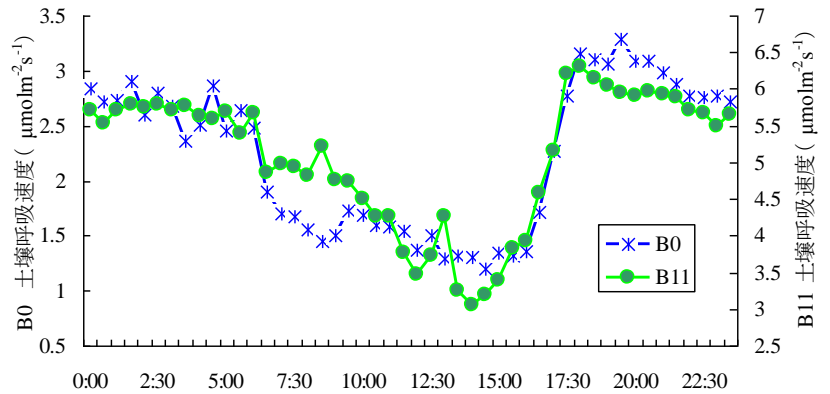


図 5 土壤呼吸速度の日変化 (06)

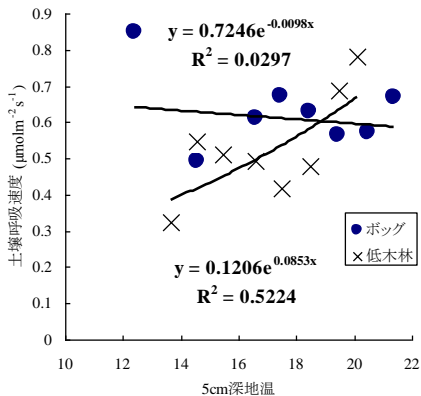


図 6 呼吸量と地温の関係(広里)

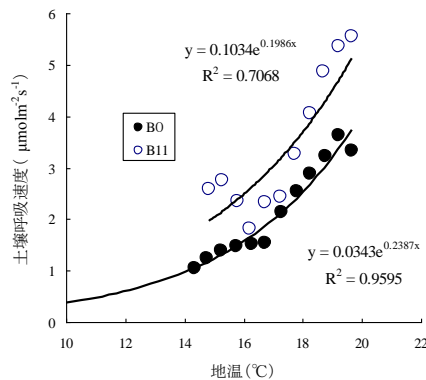


図 7 地温と土壤呼吸速度の関係
(野外観測モデル)

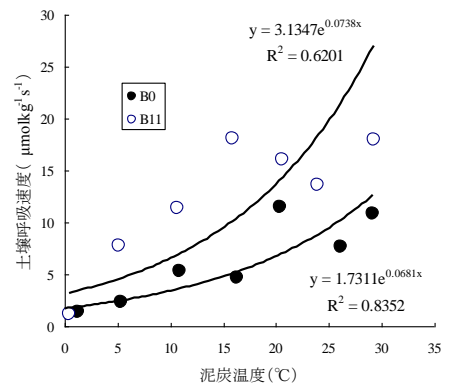


図 8 地温と土壤呼吸速度の関係
(野外観測モデル)

サロベツ湿原ボグドームの地下水浸透特性

◦ 田中祥人(北大院・農学院)・
山田浩之・平野高司(北大院・農学研究院)

1. はじめに

湿原は、希少生物の生息場所として生物多様性の観点から重要視されるようになった。最近では、泥炭として莫大な量の土壌有機物を貯蔵していることから、地球温暖化の観点からも注目されている。それは、地域から地球スケールで生じうる水文環境の変化に伴って湿原の泥炭に含まれる土壌有機物の分解が加速され、近い将来湿原が大気に対する大規模な CO₂ の放出源となる可能性があるためである。

一般的に、陸域生態系の炭素収支は光合成と呼吸・有機物分解の差である生態系純 CO₂ 交換量(NEE)で評価される。しかし、湿原では森林などに比べて NEE の絶対値が小さいため、地下水浸透に伴う系外への炭素流出を無視できないと考えられる。炭素が溶存態有機・無機炭素の形で地下水浸透に伴い流出することはリーチングと呼ばれており、夏期の蒸発散量の増加と泥炭の分解の促進によって間隙水における溶存態炭素濃度が高められ、降雨時に系外へ流出することが知られている(Fraser *et al.*, 2001)。しかし、リーチングを実測に基づいて定量的に評価した研究は少なく、さらには中高緯度地域の湿原での研究例はみられない。

本研究では、中緯度に位置する湿原としてサロベツ湿原を対象とし、リーチングの定量評価に必要な地下水浸透特性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 調査地概要と観測地点の設定 サロベツ湿原は北海道北部に位置し、年平均気温は 6.6℃、平均年降水量 958.8mm である。一般的に湿原はミズゴケ類が優占するボグとスゲやヨシなどが優占するフェンに大別され、ボグは標高がやや高くドーム状(マウンド状)の地形を示す高地に、フェンはその周りの低地に形成されることが知られている。本研究では、サロベツ湿原の中でもそうした構造が明確なサロベツ原生花園の地域を対象とした(図 1)。この地域では、近年フェンからボグに向かってササの侵入や拡大が生じている。その地域内でドームの頂点からササが優占するフェンに向かって観測ラインを設け、ミズゴケ類が優占する区域(ミズゴケ区)、ササが優占する区域(ササ区)にそれぞれ観測区(100×100m)を設けた。

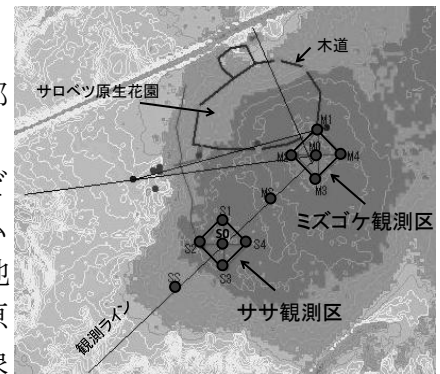


図1 調査地概要と観測区の設定

(2) 水文観測 各観測区の 4 隅の M1~M4, S1~S4 地点で 1m, 3m 深度に水圧センサと温度センサを設置し(図 1)、間隙水圧と地温を観測した。さらに、各区の中央部の MO と S0、観測区中央の MS、サロベツ川側の SS 地点に水位観測孔を設け、自記水位計を用いて水位(地表面基準)を観測した。これらの観測はデータロガーを用いて、2008 年 7 月 25 日~10 月 25 日の期間を通して 10 分間隔で行った。本研究では先ずミズゴケ区とササ区の鉛直方向の動水勾配の比較によって地下水浸透特性を評価した。鉛直方向の動水勾配(i)は次式より求めた。

$$i = \frac{\Delta P}{\Delta Z} - 1 \quad (1)$$

ここで、 ΔP は圧力水頭の差(cmH₂O)に換算し、 ΔZ は 2 深度間の距離 200 cm である。

(3) 透水試験 各観測区における浸透特性を把握するために、1 m, 2m, 3mの3深度で原位置単孔式透水試験を実施した。透水係数の算出はピエゾメーター法に従った。透水試験は2008年9月中旬に行った。なお、今回はミズゴケ区のみ報告する。

3. 結果・考察

(1) 水位観測 水位観測の結果、ミズゴケ区の地下水位は-27.9 ~ -15.0cmの範囲、ササ区は-41.6 ~ -13.0cmの範囲でミズゴケ区はササ区に比べて水位は高く安定していた。ササ区の水位は9月中旬から10月上昇し、10月末の時点ではミズゴケ区の水位よりも高くなる場合があった。

(2) 動水勾配 ミズゴケ区各地点の動水勾配は7月から9月下旬までは上向き、その後は下向きとなることがわかった(図3)。これは、9月下旬の地温の低下と対応していることから(図4)、下向きになるのは蒸発散量の低下が関係していると考えられる。加えて、ミズゴケ区において動水勾配が下向きになる期間は、ササ区の水位が上昇する期間と概ね一致していたことから、ミズゴケ区で排水された水がササ区に流入・湧出している可能性が考えられた。また、ミズゴケ区の動水勾配は、降水によって急激に動水勾配が低下し、その後回復することがわかった。ササ区各地点の動水勾配は9月下旬にピークが現れ上向きとなるが、それ以外は概ね下向きであることがわかった。また、ミズゴケ区とは異なりササ区では降水に対する顕著な応答が見られなかった。ボグドームの深層の水は乾季にアップウェリング、雨期にダウンウェリングが生じる(Siegel *et al.*, 1995)。本結果からは降雨量や蒸発散量に応じて地下水浸透のフラックスの大きさが変化すると考えられた。

(3) 透水係数 M1地点における1m, 2m, 3m深度の透水係数はそれぞれ 1.2×10^{-2} , 2.4×10^{-4} , 5.9×10^{-7} cm/secであり、深度が大きくなるにつれて透水係数は小さくなった。これは一般に言われているカトテルム, アクロテルムの存在を示唆している。

4. おわりに

本研究ではリーチングの評価に必要な地下水の浸透特性について検討し、湿原の地下水の浸透が蒸発散量に影響されることが示唆された。また、ボグとフェンの水移動が互いに関与していることもわかった。今後は継続的に水文観測を行うことで、各区における水平方向の浸透性を評価するとともに、地下水中の炭素濃度を測定することで地下水の炭素流出量の推定を行う予定である。

引用文献

Fraser C. J. D., Roulet* N. T. and Moore T. R. (2001) Hydrology and dissolved organic carbon biogeochemistry in an ombrotrophic bog, *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 15, 3151-3166
 Siegel D. I., Reeve A. S., Glaser P. H. and Romanowicz A. (1995) Climate-driven flushing of pore water in peatland, *NATURE*, 374, 531-533

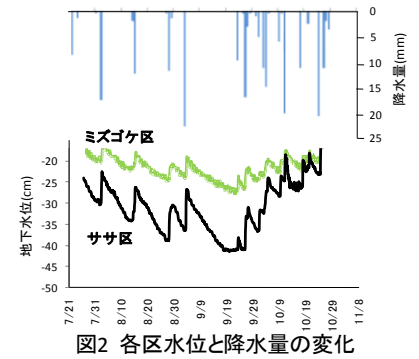


図2 各区水位と降水量の変化

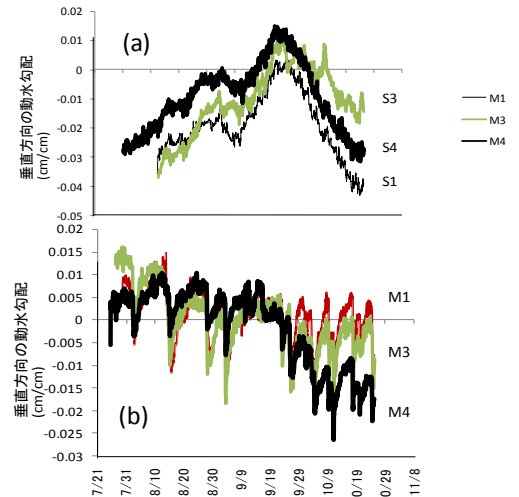


図3 ササ区(a)とミズゴケ区(b)の動水勾配変化 (正が上向き、負が下向きの水移動を表す)

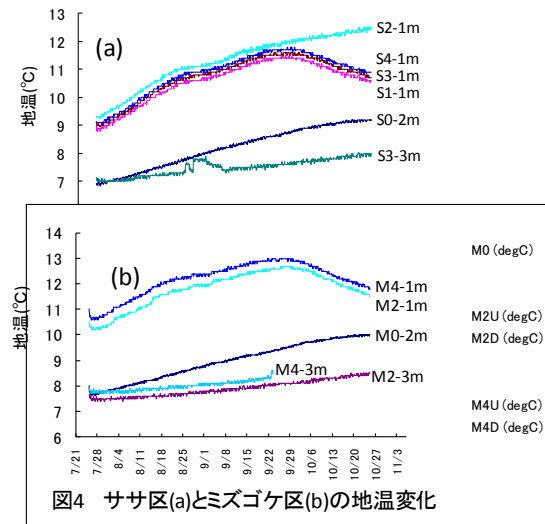


図4 ササ区(a)とミズゴケ区(b)の地温変化

仮想化OSを利用した岩手県農業情報システムの構築

○梁川翼* (岩県大院)・坂本功也・阿部芳彦・片町健太郎 (岩県大)・
菅野史拓 (元 岩手県農林水産部農業普及技術課)・
三熊有孝 (岩手県農林水産部農業普及技術課)・
横田紀雄 (岩手県 中央農業改良普及センター) *現在(株)イーアールアイ

1. はじめに

近年、農業分野へのITの活用によって、データに基づいた科学的な農業の推進が求められており、全国的に多くの農業情報システムが急速に整備されてきた。これらのシステムは、農業生産から流通に至るまでの多様な場面で用いられており、一方では、メッシュ気象図の作成による精細かつ柔軟な予測・予察なども試みられている。このように、数多くの場面でメッシュ気象図が利用されているものの、その殆どが1km以上のものである。しかしながら、地形が複雑な地形においては、近隣の地域であっても適作物が異なるという可能性があり、より精密なメッシュによる気象情報の提供が求められている。一部の農業者では、独自に高価な気象観測機器等を設置して対応を取っているが、より多くの農業者が簡便にかつ高精度の気象情報を気軽に利用できるような仕組みが望まれている。

本研究では、地形の起伏が複雑な地域である地域における推定精度の向上を実現した50mメッシュによる気象情報システムの開発を目的とする。また、メッシュ気象情報を主軸とした次期岩手県農業気象システムとして、既存の予測・予察システム等とのシームレスな連動を図り、農業者や技術者が使いやすいシステムの構築を行う。

2. 50mメッシュにおける気象推定

最新の50mメッシュ気象の推定に関する研究報告[1]では、従来よりも細かいメッシュにおける気象推定について良い成果が挙げられている。しかしながら、既存の50mメッシュ気象図作成法における問題点も同時に指摘されている。既存手法では、独自の観測機器によって統計的に十分な観測地点を設けて事前に現地観測する必要があり、その実際の気象観測がネックとなり、新規に50mメッシュ作成・利用するまでに相当な時間とコストがかかる。

この問題を受けて、本研究では独自の気象機器による気象観測コストを解消するため、アメダス観測値の他に、数値予報GPV(MSM)による気象予測データを活用し、実際の気象観測データの代用とすることで、効率的な50mメッシュ気象推定システムの開発を行う。MSMデータは、物理モデルを解析して得られた推定値であり、5kmメッシュの気象情報として提供されている。これにより、実際の気象観測を行わずに気象データを入手できる。

本研究におけるメッシュ気象図作成法は、既存の研究[1][2]である地形因子を用いた重回帰分析による推定と、標高による気温補正を加えた平面内挿による推定の2種類と、アメダスデータ、MSMデータの2つの気象データを組み合わせ、それぞれ開発を行っている。現在までに、アメダスデータと平面内挿法による50mメッシュ気象図(図1)が作成されており、県内の様々な予測・予察システムと連動して活用できるシステムとして運用している。また、現在システムの本運用に向けての検証中の段階として、アメダスデータと重回帰分析によるメッシュ気象図と、MSMデータと平面内挿法によるメッシュ気

象図を作成し、それらの推定値と実測値の間の推定誤差や、圃場調査による実測と予察結果との誤差についても適宜評価・修正を行っている。このように、基礎データとメッシュ気象図作成手法の組み合わせによって、それぞれの誤差等を多角的に比較・検証することで、メッシュ気象図作成のための基礎データとしての、MSM データの有用性の検証を行っている。

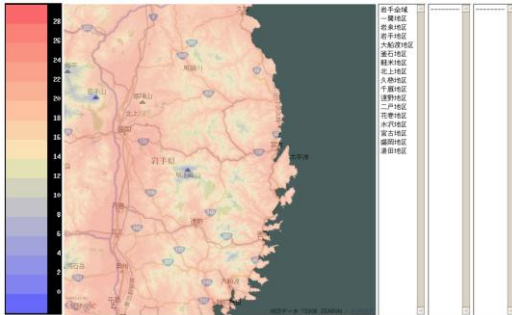


図1 開発中のメッシュ気象図出力部

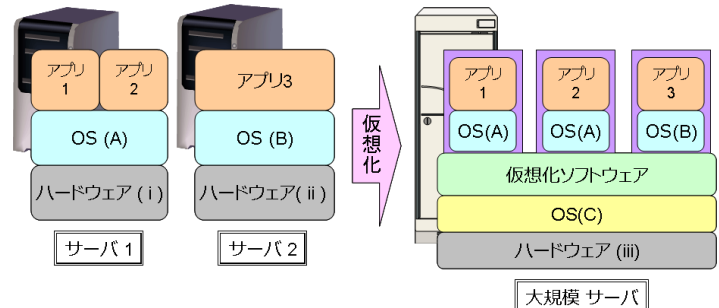


図2 サーバ仮想化によるシステム構築の概念図

3. 仮想化 OS を利用したシステム開発

このようなメッシュ気象図を主軸とする、農業情報システムの安定した運用・情報提供において、その気象推定精度の比較・検証・改良は、継続的に行う必要性がある。本システムでは、安全かつ安価で、安定した“システム運用”と更なる改良を目指す“システム開発”が両立できる仕組みを取った。この仕組みとは、仮想化 OS によるシステムの管理の導入であり、作物毎や病害・虫害等の各専門家によって、個別に開発された動作環境が統一されていない情報システムの移行や、計算機の著しい発展に伴って保守が困難になった、レガシーシステムを最新のハードウェア上において、システム運用を再開することが可能となり、再開のコストを削減することができる。また、仮想化技術を用いることで、容易に各開発段階のシステム環境の複製や保存を行い、それらファイルから仮想化ソフトウェア上に仮想化 OS としてエミュレートすることができ、それぞれの環境や運用の実態の違いを一切考慮せず、複数のシステムを同一の環境で運用・管理することができる。

したがって、大規模農業情報システムの構築を行うにあたり、従来のシステムによる安定した情報提供を確立しつつ、複数の開発段階のシステムを同時に運用・検証を行い、開発毎のシームレスなシステム移行を迅速かつ容易に実現するために、仮想化 OS によるサーバの統合管理が有用である。

4. まとめ

仮想化 OS を利用することで、50m メッシュによる気象情報を主軸とする、安定した“システム運用”と、さらなる精度向上のための継続的な“研究開発”を平行に行うことができる。次期岩手県農業気象情報システムの構築を行っている。これにより、個別に開発された農業情報システムの移行のための再開コストが抑えられる。また、複数に並行して開発されるシステムから、開発段階の進行による、シームレスな運用システムの移行が実現できた。本システムは、2009 年度より本運用を開始する予定である。

参考文献：

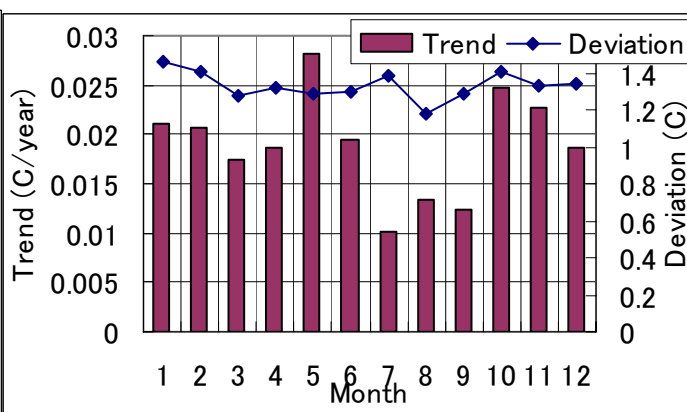
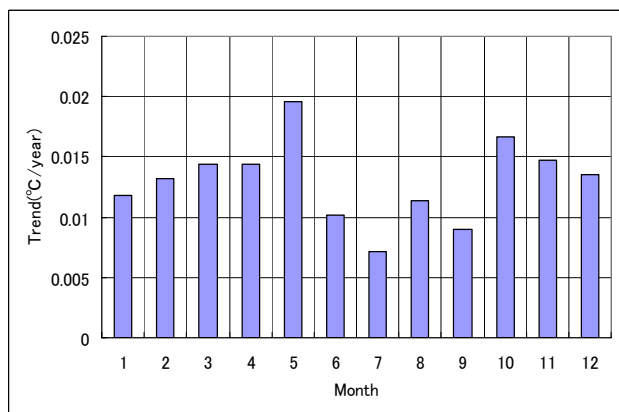
- [1] 植山秀紀, 2008: 中山間地域農業におけるメッシュ気象図の利用. 近中四農研報, 7, 145-207.
- [2] 清野 裕, 1993: アメダスデータのメッシュ化について. 農業気象 48 (4), 379-383.

霜害監視システムの開発

渡邊 明 (福島大学理工学群)

1. はじめに

近年の気温上昇は一様でなく、特に福島では春季の気温上昇が大きい。第1図は1890年から2007年までの118年間の各月の気温変動量を直線回帰によって求めた1年当たりの気温変動量を示したものである。最も大きい上昇率を示すのは5月、次いで10月、11月、4月、3月の順になっており、霜害の発生しやすい時期の温度上昇が著しいことがわかる。気温上昇は平均気温よりも最低気温の上昇率の方が大きい。第2図は最低気温の上昇率と標準偏差を示したもの



第1図 1890年から2007年の各月の気温昇温度量

第2図 1890年から2007年の各月の最低気温昇温度量と標準偏差

である。上昇率では平均気温と同様に5月が最も大きく、次いで10月、11月になっている。しかし、3月、4月の上昇量は相対的に小さい。すなわち、5月、10月、11月の平均気温の上昇は最低気温の上昇が寄与しているが、3月、4月の平均気温の上昇には最低気温の上昇が5月などに比べて大きく寄与していないことを示している。月毎の最低気温の標準偏差でも冬季がやや大きくなる傾向があるが、各月毎の差は大きくない。したがって、最低気温が大きく上昇し、零下にならなくなれば基本的に霜害は発生しないが、春季の平均気温上昇が大きいものの、最低気温の上昇は大きくないため、発芽や開花が早くなり、霜害を受け易い状況の気候変化が起こっている。

霜害予防には燻煙などの作業が不可欠で、その決定には徹夜の観測が必要になっている。しかし、一般的な最低気温予測は空間的にも、精度的にも活用できる状態ではない。そこで、ここでは具体的に最低気温の2次元分布を50mの空間分解能で、10分間隔でモニタリング可能な霜害監視システムを構築したのでその結果を報告する。

2. 監視システム

遠隔気温測定装置はたくさんあるが、無線でデータを配信する装置(ウェザーバケット等)は電波法により1km程度の通信が限界になっている。したがって、こうした測定器で計測する場合は1kmの範囲内にエリアを代表する地点を設置することが必要になる。しかし、一般に畑の領域は広く1kmの範囲内で代表地点を設定できない場合を考慮し、一般に使用されている無線電話機能を利用して観測値を送信することができる、メール機能つきノースワン社製温度湿度測定装置(KADEC21-UHTV-N2)を利用することにした。これは温湿度センサーと記録計のシンプルな構成で、センサー電源および変換器が記録計に内蔵されている。また、外乱要因を軽減するための専用シェルターもある。静電容量式の湿度センサーは、応答性が早く0から100%

までの相対湿度測定ができ、温度センサーは4線式の白金測温抵抗体を使用しているため安定したデータが得られる。内蔵電池のみで温度湿度データを1年以上連続して測定が可能である。Eメール機能は、記録計本体に通信モジュールが内蔵、指定したメールアドレスにデータを転送する仕組みになっている。この10分間ごとに得られたデータから、先に検討した地点ごとの特殊性 (grid factor) を計算して、2次元気温分布を表示して監視するシステムである。

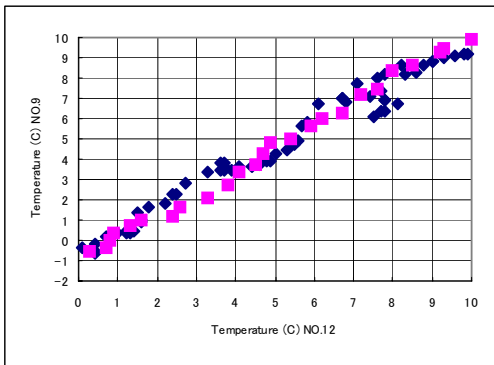
3. Grid factor の決定

気温の変動量は基本的に $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_h + \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_{rad} + \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_{adv}$ で表現できる。ただし、

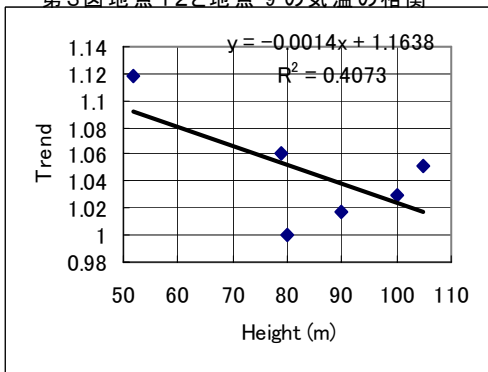
$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_h = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \text{ で乱流フラックスによる気温変動量を, } \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_{rad} = -\frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial}{\partial z} (L^\uparrow(z) - L^\downarrow(z)) \text{ で}$$

放射による気温変化量を, $\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_{adv} = -\left(u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial w}\right)$ で移流による気温変動量を示している。

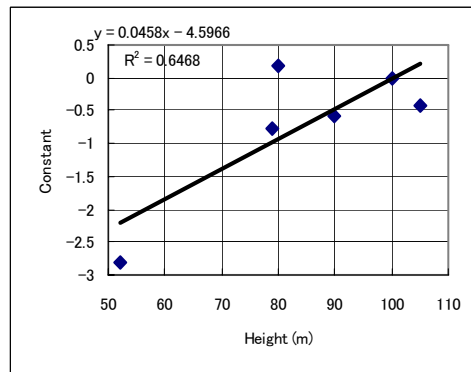
。おおよそ 10kmX10km の対象領域の放射を一定とし、霜害が発生している夜間は安定層が形成されるために乱流フラックスによる熱輸送も大きくないと仮定すると、基本的には温度移流量の差異で最低気温の差が生じているものと考えられる。特に第3図に示すように、2地点の気温相関図を見ると、それぞれ気温変化に対する相関はよいものの、気温低下時と昇温時で異なった傾斜を示している。したがって、ここでは最低気温発生時の相関関係のみを活用し、代表地点 (key station) との関係性を求めて Grid factor を決定した。第



第3図地点12と地点9の気温の相関



第4図標高と気温の trend との関係



第5図標高と気温の定数との関係

係も第5図に示す。標高が高い程負の定数が大きく、低いところほど低温になる傾向が出現している。

4. まとめ

霜害予測を的確にするためには、対象領域の気温分布特性をきちんと理解する事が不可欠である。2次元気温分布は基本的に多くの地点で適切に測定することが重要であるが、実用化するための運営コストが高くなる。したがって、多くの地点の代表となる地点 (key station) を探すための観測を行い key station との関係性を求めて2次元気温分布を設定することにした。今後さらに観測を積み重ねより適切な grid factor を探し、適切に表現できるようにしたい。なお、この研究は平成20年度独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構委託研究「高精度最低気温予測手法および晩霜害発生予測モデルの開発」により実施した。

自然氷を利用した農水産物貯蔵庫の熱収支

○佐伯寅彦・浦野慎一・木村賢人・岡田啓嗣（北大院農）

小川善一（大林組）・菊池工（山本建設）

はじめに 自然氷を利用した省エネ型農水産物貯蔵庫は、寒冷地における自然エネルギー利用型の低温貯蔵庫としてその普及が期待されている。この貯蔵庫は、自然氷の冷熱損失を最小限にするため施設を断熱構造にする必要があり、これにより施設建設にかかる初期コストが高くなる。そのため、この貯蔵庫を実用化し普及させるためには、製氷効率の向上など技術的課題の解決のほかに、施設にかかる初期コストが経済的に見合うかどうかの検討が必要である。しかし、このような貯蔵庫は建設事例が少なく、施設の初期コストを正確に見積もるのが困難な状況である。これは、適切な断熱材使用量など施設の熱的設計基準が確立されていないためであり、初期コストを正確に把握し、そのコストに見合った利用法を考えるためには、地域の気候に適した断熱材の厚さ、つまり断熱構造を把握し、それを基にした熱的設計基準を作成する必要がある。

そこで本研究では、氷を利用した貯蔵庫の設計資料を得るため、稚内に建設された実験施設における 2007 年の夏期の熱収支を観測し、熱的問題を検討した。また、2008 年は換気による熱損失を抑えるために風除室を設置したので、継続して観測を行い風除室の効果を検証した。

方法 研究対象とした施設は、稚内市声間に建設された実験貯蔵庫である。貯蔵庫の形状はかまぼこ形で、大きさは幅 10m、奥行き 12m、高さ 5m である。外壁には断熱材のウレタンフォームを内外に 75 mm ずつ、合計 150 mm 使用し、その熱貫流抵抗 R は $1.72 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C} \text{ kJ}^{-1}$ である。2008 年度からはシャッター前に 2.5 m の風除室を設置した。この貯蔵庫では農産物だけでなく海産物の貯蔵も行うため、目標庫内温度を 4-5 月は -1°C 、6-10 月は 3°C に設定している。そのため、製氷用の水として通常の水 28 ton の他に、融点が -3°C の 5% プロピレングリコール溶液 12.5 ton と海水 25 ton を使用した。床にはホタテ貝殻を敷き詰め、その間隙に 27ton 製氷した。また 2008 年度は床の上に約 13ton の雪を投入した。2 月に氷結厚を求めて測定した結果、2007 年度の貯氷量は約 80ton、2008 年度は約 87ton だった。

観測項目は外壁表面温度・庫内気温・庫内地温・外部地温・水温であり、観測期間は 2007 年 4-10 月、2008 年 4-10 月である。外気温は AMeDAS（声間）の日平均気温データを使用した。

結果と考察 図 1 に 2007 年度および 2008 年度の外気温・庫内気温の推移を示した。外気温は両年ともほぼ同様に推移しており、同程度の温度条件だったといえる。庫内気温は、2007 年は庫内の氷が全て融解した 8 月 31 日から上昇がやや

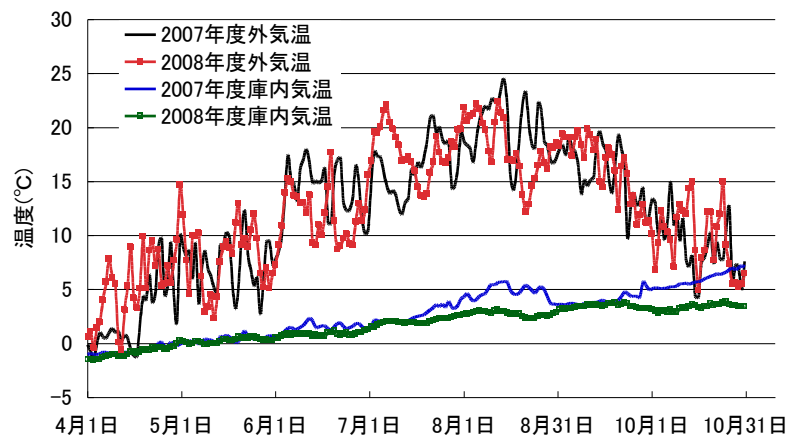


図 1. 外気温と庫内気温の推移

急になったのに対し、観測期間内に融解が完了しなかった 2008 年は低温維持期間が長かった。解析期間における庫内の氷の融解量は、以下の式で推定した。

$$W = (Q_w + Q_f + Q_v + Q_{FAN}) / L$$

ここで、 W は融解量 (ton day^{-1})、 Q_w 、 Q_f はそれぞれ壁・床を通じた熱流入量 (MJ day^{-1})、 Q_v は換気 (すきま風、人の出入り) による熱交換量 (MJ day^{-1})、 Q_{FAN} は内部に設置したファンの発熱量 (MJ day^{-1})、 L は氷 1 ton 当たりの融解潜熱 (MJ ton^{-1}) である。 Q_w 、 Q_f 、 Q_{FAN} は施設の設計値と内外の温度差を用いて求めた。また、換気量は以下の式を用いて計算した。

$$Q_v = V \cdot \rho \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_{air}$$

ここで、 V は 1 日あたりの換気量 ($\text{m}^3 \text{day}^{-1}$)、 ρ は空気の密度 (kgm^{-3})、 C_{pa} は空気の比熱 ($\text{kJkg}^{-1} \text{C}^{-1}$)、 ΔT_{air} は内外気温差 ($^{\circ}\text{C}$) である。この貯蔵庫では、人の出入りやシャッターの隙間を通じて自然換気が生じており、その換気量は不明である。そこで、2007 年は 8 月 31 日に全ての氷 80 ton が融解したため、8 月 31 日時点での床・壁からの熱流入とファンの発熱による融解量の計算値 56.3 ton と実際に融解した氷量 80 ton との差を、換気による融解量として換気量を推定した。その結果、2007 年の平均換気回数は 0.34 回 h^{-1} となった。また、それぞれの要素による融解量は図 2 のように推定された。施設の氷が融解する要因は、主に床・壁からの熱流入と換気による熱交換であることが分かった。壁からの熱流入量は流入面積が大きく日射の影響も受けることを考慮すると、良好な断熱性能を有していると考えられる。これに対し、床からの熱流入は面積が相対的に小さいにもかかわらず最も大きな値になっており、何らかの断熱対策が必要である。また、換気による熱交換も相対的に大きい。この施設の出入り口はシャッターになっているため、すきま風が多かったと考えられる。

2008 年は換気による熱損失を防ぐため風除室を設置した。2008 年は観測期間内に融解が完了しなかったため、10 月 31 日時点での壁・床・換気による融解量の計算値 77.6 ton と貯氷量 87 ton との差を、換気による融解量として推定した。その結果、2008 年の平均換気回数は 0.09 回 h^{-1} となり、それぞれの要素による融解量は図 3 のように推定された。

以上の結果より、風除室の設置によって換気回数・換気による熱損失が大きく抑えられたことが分かった。また、その結果氷の融解も抑えられ、低温維持期間を延長することができた。

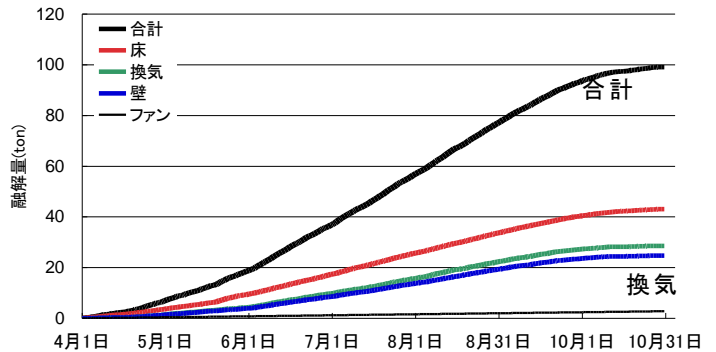


図 2.2007 年度の推定融解量

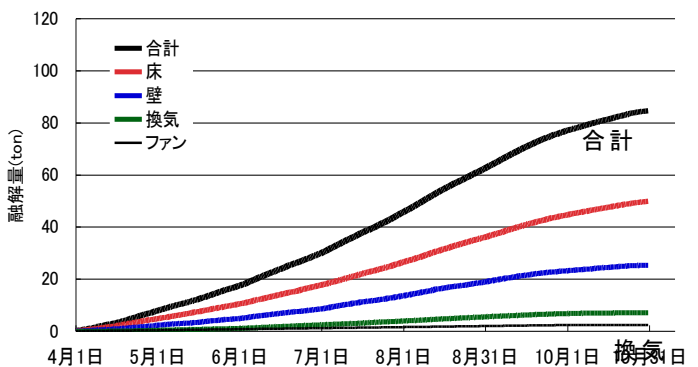


図 3.2008 年度の推定融解量

肉牛生産における放牧と舎飼とのエネルギー収支の比較

° 皆川秀夫・中坪あゆみ・田中勝千(北里大学獣医学部)

【ねらい】中国・インドなどの経済的成長、原油価格の高騰、資源・肥料・食料の不足、さらに地球の温暖化や異常気象の多発など今、地球規模の大きな変化が生じている。とりわけ食料危機は食料自給率が40%を下回る日本に大きな衝撃となりうる。このとき、食料安全保障からみれば食料自給率100%を越える東北・北海道の農業は頼もしい。そこで、この自給率を維持し、さらに向上するには、化石エネルギーの依存度や生物系廃棄資源の再循環率、さらには県内農産物の地元消費など、農業の「自立性」、「循環性」、「自給性」を客観的に評価し、その近未来の方向性を提案する必要がある。

本研究では、青森県内の肉用牛(図1)を対象に、肉牛生産における放牧と舎飼とのエネルギー収支、生物系廃棄物循環の有効エネルギー(エクセルギー)評価、および飼料のフードマイレージ評価の比較を試み、肉牛生産における「自立性」、「循環性」、「自給性」を比較した。

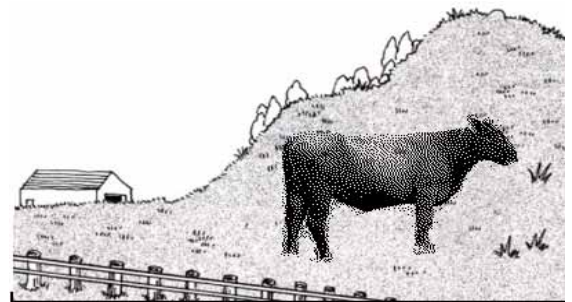


図1. 放牧牛と舎飼牛とのエネルギー、エクセルギー、フードマイレージの比較

【方法】

1) 調査牧場

肉牛生産におけるエネルギー収支を解析するため、(1)自給・放牧、(2)自給・舎飼、(3)輸入・舎飼の3種の生産形態別を設定、青森県内の次の3牧場を選定し聞取調査した。

- (1) 自給飼料・放牧主体(夏季放牧、冬季舎飼): 横浜町、青森県七戸畜産農業共同組合横浜牧場(「横浜牧場」)、日本短角種(30~50頭)
- (2) 自給飼料・周年舎飼: 十和田市、北里大学獣医学部附属十和田農場(「北里牧場」)、日本短角種ほか(20~30頭)
- (3) 輸入飼料・周年舎飼: 十和田市、「民間牧場」、日本短角種ほか(20~30頭)

2) 調査項目

各牧場について、家畜の種類・頭数、糞尿排泄量、自給飼料の面積・収量、購入飼料、肥料・農薬の種類・量、作業管理に係る燃料(種類・量)・電力量など(表1の調査項目参照)、過去3~4年間のデータを集めた。

【結果・考察】

1) 調査結果例

調査結果の一例として北里牧場を表1に示す。同牧場では、肉牛(繁殖、実験用)の飼料を完全自給するため、牧草(オーチャード主体、7.0 ha)のほか単位面積収量が牧草の2倍以上見込める飼料用トウモロコシ(サイレージ化、1.7 ha)をそれぞれ栽培している。このため、飼料栄養として自家製牛糞堆肥のほか化学肥料や除草剤を散布、さらに飼料・肉牛の作業・管理のため電力や燃料を使用するなど肉牛・飼料の生産に各種人工エネルギーが投入されている。

2) エネルギー収支(表1)

表1. 肉牛生産におけるエネルギー収支例

表1. 肉牛生産におけるエネルギー収支例		
調査項目	(1) 牧場名	北里大学(十和田農場)
	繁殖・肥育 特徴	繁殖(実験用) 舎飼(周年)、飼料(自給)
	(2) 調査年度	2006(H18)
	(3) 家畜の種類・飼養頭数(頭)	
	1) 成牛	22
	2) 子牛	8
	(4) 糞尿排泄量(t/年)	
	1) 糞(牛糞+敷料)	200
	(5) 自給飼料の栽培面積・収量	
	1) 牧草面積(ha)	7.0
	収量(tDM)	46
	2) 飼料用トウモロコシ面積(ha)	1.7
	収量(tDM)	24
	(6) 購入飼料	
	1) 粗飼料(牧草・稲ワラなど)(t)	8(稲ワラ、堆肥16tと交換)
	(7) 飼料畑への散布肥料	
	1) 化学肥料(t)	
	N	1.8
	P	1.3
	K	1.8
その他(Ca, Mg, Siなど)	5.6	
2) 有機肥料(t)		
堆肥	122	
(8) 除草剤(kg)	8	
(9) 作業・管理に伴う燃料・電力		
1) 軽油(L)	4,200	
2) ガソリン(L)	340	
3) 電力(kWh)	90	
投入エネルギー(GJ/ha/年)	(A) 太陽エネルギー(光合成有効放射、夏期栽培期間) ¹⁾	12,600
	(B) 化学肥料・農業のエネルギー	30
	B1) 化学肥料 ²⁾	30
	B2) 農業 ²⁾	0.22
	(C) 作業・管理のエネルギー	22
C1) 燃料(軽油+ガソリン) ²⁾	22	
C2) 電力	0.04	
出力エネルギー(GJ/ha/年)	(D) 飼料・牛の生産エネルギー	
	D11) 飼料 ²⁾	150
	D21) 牛(成牛22+子牛8) ³⁾	83
生産効率(%)	(E) 飼料・牛の生産効率	
	E1) 飼料の投入エネルギーに対する生産効率=D11 × 100 / (A+B+C)	1.2
	E2) 飼料の太陽エネルギーに対する生産効率=D11 × 100 / A	1.2
	E3) 飼料に占める化学肥料・燃料のエネルギーの割合=(B+C) × 100 / D11	37
	E4) 牛の飼料に対する生産効率=D21 × 100 / D11	50
E5) 牛の太陽エネルギーに対する生産効率=D21 × 100 / A	0.6	

注 1) 内嶋(1979)より算出。
 注 2) 板野(2008)より算出。
 注 3) 成牛(体重450kg)1頭に対し子牛(100kg)0.25頭、また、成牛の維持生産エネルギー=30 GJ/年/頭、をそれぞれ仮定

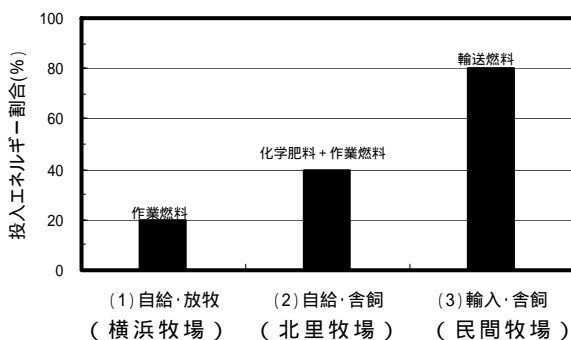


図2. 肉牛生産の形態別の飼料(18 MJ/kg)に投入される人工エネルギーの割合

< 引用文献 >

- 1) 内嶋善兵衛、1979: 農業をとりまく自然エネルギー資源、農業および園芸、54(1)、109-116。
- 2) 板野志郎、2008: 草地畜産におけるエネルギー収支計算シート、畜産草地試験場 草地動態モニタリング室。

北里牧場では、自然エネルギーの代表である太陽エネルギーを含む投入エネルギーに対し、飼料および肉牛の生産効率はそれぞれ 1.2%、0.6%となった。飼料が太陽エネルギーを利用する効率は極めて低いが、飼料から肉牛への生産効率は 50%と非常に高かった。飼料に投入される化学肥料および作業燃料のエネルギー割合は 37%となり飼料生産の人工エネルギー依存は高い。

そこで、生産形態の異なる 3 種牧場別に飼料 1 kg に投入される人工エネルギーの割合を図 2 に示した。(1)の横浜牧場は夏季に放牧しているため、作業管理のための燃料エネルギーが少ない。一方、輸入飼料に依存する(3)の民間牧場では、飼料に海外からのエネルギーが加わり(板野、2008)その値は飼料エネルギーの 80%にも達する。この輸入飼料のエネルギー換算は食品のフードマイレージに関連し興味深い。

3) 牛糞のエクセルギー評価

(1)の放牧では牛の糞尿はそのまま牧草に排泄され自然、昆虫、微生物などにより分解される。このとき牛糞の熱放散の割合は少なくエクセルギーは保存される。一方、(2)や(3)の牧場では堆肥舎に牛糞を集め、機械による好気発酵を促進、牛糞から多量の発熱を伴う。このためエクセルギー減少する。放牧のエクセルギー効率は高い。

【まとめ】3 牧場のエネルギー収支を検討した結果、放牧(自給)は舎飼(自給・輸入)に比べ投入エネルギーが 20~40%低く、省エネルギー率は高い。

温暖化傾向に伴うカメムシの世代と水稻の生育ステージの関係

○荒川市郎・松木伸浩・菅野洋光² (1福島県農業総合センター、2東北農業研究センター)

1. はじめに

福島県では、1990年頃から水稻の幼穂形成始期や出穂期が数日早まる傾向が見られ、温暖化の兆候ではないかと考えられている。また、モモやリンゴなどの果樹では、暖冬の影響で発芽期や開花期が早まったり、夏季から秋季の高温でリンゴの着色が遅れたり果実の硬度が低下するなどの影響がみられている。このような現象について、最近の気象との関係を検討するため、地球温暖化対策プロジェクトチームを立ち上げ、調査・解析を開始したところである。

一般に温暖化の影響は、作物の生育ステージや品質等の変化として現れるほか、病害虫の種類や発生時期、発生量にも影響すると考えられている。水稻では、カメムシ類による斑点米が品質低下の原因として上げられており、これまで高温年時に被害が多かったことから、温暖化に伴う影響について関心が高まっている。しかし、これまでの定点観測結果では、カメムシ類の誘殺数と気象との関係について、水稻の生育ステージのような傾向が認められないが、近年、世代数が増加する傾向が認められることから、将来の気温上昇に伴うカメムシ類の世代数と水稻の生育ステージの関係について検討を試みたので報告する。

2. 方法

(1) 温暖化に伴う平均気温の推定

将来の気温については、新世紀重点研究創生プラン(RR2002)「人・自然・地球共生プロジェクト」において、東京大学気候システム研究センター(CCSR)、国立環境研(NIES)、地球環境フロンティア研究センター(FRGC)によって開発された高分解能大気海洋結合モデルThe Model for Interdisciplinary Research on Climate(MIROC)を用いた。さらに、MIROC出力気候要素3次メッシュ内挿データ(以降、メッシュデータと略す)は、MIROCの出力した気候要素を、日本陸域について国土数値情報3次メッシュに内挿したものである。気象庁が提供するメッシュ気候値に基づく平年差法等の処理は行っておらず、MIROCの出力値のうち各メッシュの近隣の4点を用いて距離逆数重み付け平均で内挿し、標高補正をした。なお、温暖化予測は、SRES-A1Bである。

(2) カメムシ類の世代数のモデル化

重久(2004)が作成したアカスジカスミカメの年間世代数の推定法を利用し、日平均気温から水稻生育期間中の世代数と生育ステージを計算した。パラメータとしては、卵期間の発育零点を12.1℃、有効積算温度を105.7日度、幼虫期間を同様に11.9℃、182.1日度、産卵前期間を15.1℃、59.5日度とし、卵がすべて休眠卵になる10月上旬まで積算を繰り返した。

計算に使用した平均気温は、地球温暖化モデルの値をメッシュ展開した郡山市の地点を用い、2000年から2004年(現況)と2040年から2044年(温暖化)の期間を平均した値を代表値として使用した。

(3) 水稻の生育ステージ

荒川らの発育指数モデルを利用し、県内の主要品種であるコシヒカリを対象に、日別平均気温から出穂期を求めた。計算は、カメムシの世代数と同様に現況と温暖化の条件を使用した。

3. 結果と考察

(1) カメムシの世代数と水稻の出穂期

2040年頃の気温の上昇は、水稻生育期間の平均で約1.8℃の上昇であった。この条件下でのアカヒゲカスミカメの世代数は越冬世代を含めて4世代となり、現在より1世代増加すると推定される。コシヒカリの出穂期は、現況で8月12日で1世代と2世代の間であるが、温暖化条件では2世代の幼虫期に相当する。カメムシの被害は出穂期以降であることから、温暖化により複数の世代にわたって被害されるおそれがあり、防除回数などの見直しを検討する必要がある。

表1 温暖化に伴うカメムシの世代数の変化

世代	現況(月日)			温暖化(月日)		
	卵	幼虫	成虫	卵	幼虫	成虫
越冬世代	6. 1	6. 25	7. 4	5. 23	6. 15	6. 24
1世代	7. 14	7. 30	8. 8	7. 4	7. 19	7. 26
2世代	8. 18	9. 5	9. 17	8. 4	8. 18	8. 24
3世代	-	-	-	9. 2	9. 20	10. 3

表中の数値は、終期を表す。
出穂期：現況；8月12日、温暖化；8月6日

4. 引用文献：

K-1 model developers 2004: K-1 coupled model (MIROC) description, K-1 technical report, 1, H. Hasumi and S. Emori (eds.), Center for Climate System Research, University of Tokyo, 34pp.

秋田県横手市における20年間の水稻生育期間の気温経過からみた「あきたこまち」の生育特性

○佐藤雄幸・金和裕・宮川英雄(秋田県農林水産技術センター農業試験場)

はじめに

県南内陸部は「あきたこまち」の作付比率が90%を超え、水稻生育期間の気象は穏やかな地域である。地球温暖化の影響は、水稻の生育期間では春の昇温による変動が大きい(下野・2008)とされることから、生産現場における影響を検討するため、1988年から2007年までの横手市の気温経過から「あきたこまち」の分けつ期の昇温に対する生育特性と対策について検討した。

材料および方法

1. 供試品種:あきたこまち.
2. 生育データは、1988年から2007年までの横手市平鹿町に設置した豊凶考証試験平鹿試験地の生育、収量成績を用いた。葉数は不完全葉の次葉を第1葉として計測した。
3. 耕種概要は、5月19~23日移植(平均移植日5月20日)、施肥量は窒素成分7~8gm⁻²(基肥5~6gm⁻² 減数分裂期追肥2gm⁻²)、栽植密度は22~19本m⁻²である。
4. 気象データは、1988年から2007年までの横手市アメダス地点の観測データを用いた。
5. 分けつ期の気温は、移植から最高分けつ期までの積算気温に基づいて、その平均値から3段階に区分した。区分は、20℃以上で経過した場合、19℃以上20℃未満の場合、18℃以上19℃未満の場合の3区分である。

結果及び考察

表1 4~10月の月別平均気温の1次回帰式

	平均気温	最高気温	最低気温
4月	y = -0.0065x + 9.0637	y = -0.0294x + 14.864	y = 0.0131x + 3.7126
5月	y = 0.0716x + 13.998	y = 0.0594x + 19.576	y = 0.0809x + 8.8805
6月	y = 0.0719x + 18.665	y = 0.0747x + 23.411	y = 0.063x + 14.528
7月	y = 0.0253x + 22.645	y = -0.0098x + 27.368	y = 0.0486x + 18.79
8月	y = 0.0302x + 24.178	y = 0.0296x + 28.949	y = 0.0535x + 20.004
9月	y = 0.0802x + 19.233	y = 0.1035x + 23.638	y = 0.0554x + 15.593
10月	y = 0.048x + 12.776	y = 0.0559x + 17.713	y = 0.0493x + 8.4721

1988~2007年までの横手市アメダスデータより作成

表2 移植から最高分けつ期までの積算気温と調査日別生育

項目との相関関係	調査日別生育				
	6月18日	6月25日	7月5日	7月15日	減分期
草丈	0.296	0.628	0.737	0.499	0.405
葉数	0.630	0.675	0.547	0.479	0.487
茎数	0.468	0.623	0.083	0.035	0.017
乾物重	0.546	0.665	0.610	0.543	0.368
窒素含有率	-0.158	-0.345	-0.341	-0.345	-0.329
窒素吸収量	0.465	0.618	0.575	0.520	0.398

n=20、相関係数0.549で1%水準、0.433で5%水準で有意。

表3 分けつ期気温経過別の生育ステージ

	幼穂形成期	減数分裂期	出穂期
	(月/日)	(月/日)	(月/日)
18℃以上19℃未満	7/15	7/28	8/8
19℃以上20℃未満	7/13	7/26	8/4
20℃以上	7/10	7/23	8/2

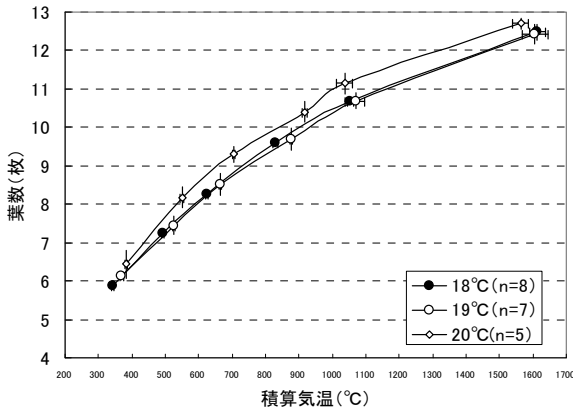


図1 分けつ期気温経過別の葉数推移

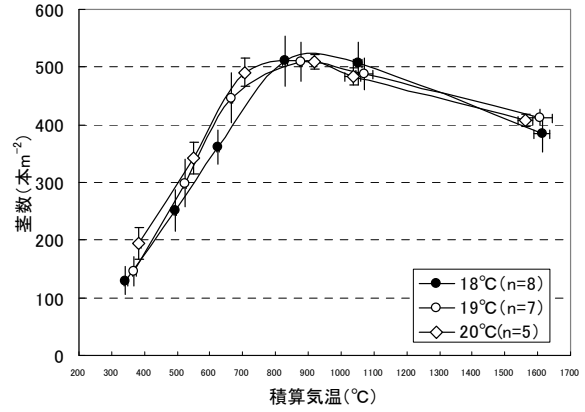


図2 分けつ期気温経過別の茎数の推移

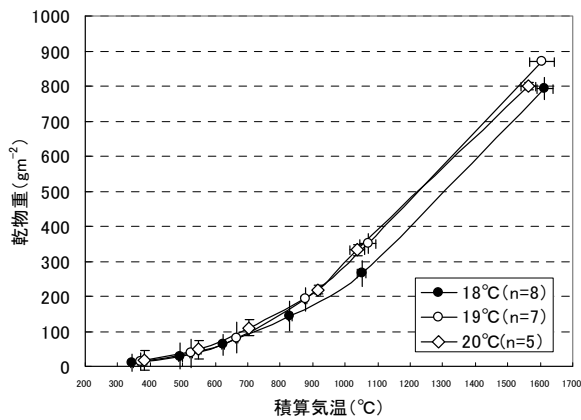


図3 分けつ期気温経過別の乾物重の推移

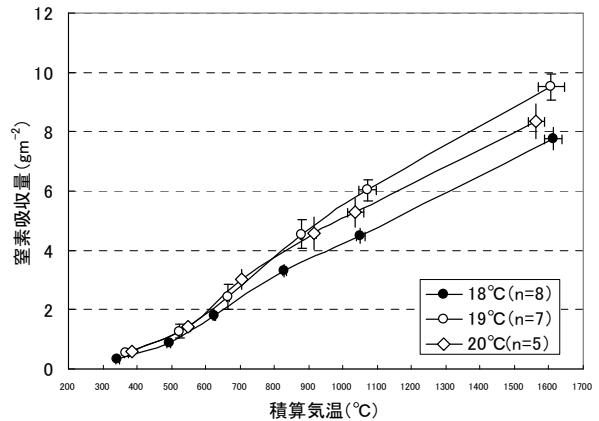


図4 分けつ期気温経過別の窒素吸収量の推移

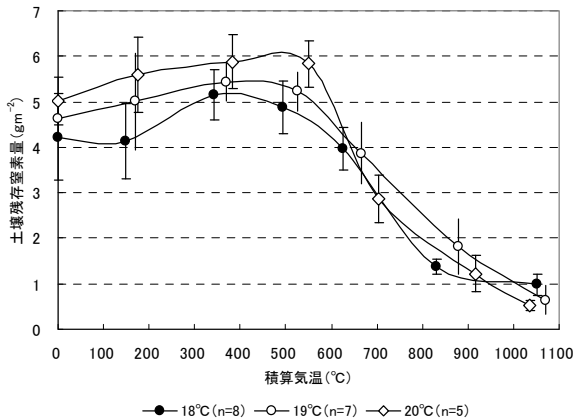


図5 分けつ期気温経過別の土壤残存窒素量の推移 m^2 当たり茎数は $19^\circ C$ 以上で増加が大きかった(図2). 乾物重は、積算気温 $900^\circ C$ 以降に差が大きかった(図3). 窒素吸収量は $20^\circ C$ 以上で経過した場合、積算気温 $800^\circ C$ 以降に吸収量が低下する傾向にあった(図4).

4. 土壤残存窒素は分けつ期 $20^\circ C$ 以上で経過した場合には、初期から高めに発現して、消失は積算気温で $600^\circ C$ 過ぎから急速に低下した(図5).

以上、分けつ期の昇温の影響は、葉数の展開が早まり、 m^2 当たり茎数や乾物重が増加して、生育ステージの前進化につながった。また分けつ期に $20^\circ C$ 以上で経過した場合は、土壤残存窒素の発現が多く、消失も早いため、生育・栄養診断や被覆尿素による技術対策が効果的と推察された。

1. 秋田県横手市のアメダスデータでは、20年間の平均気温の上昇傾向は、5月、6月及び9月がわずかながら大きかった(表1).
2. 最高分けつ期までの積算気温と草丈、葉数、茎数、乾物重、窒素吸収量との相関係数が有意で、特に葉数の増加は減数分裂期まで影響した(表2). 分けつ期の気温経過が高い場合は、幼穂形成期や減数分裂期、出穂期が早まった(表3).
3. 葉数の増加は $20^\circ C$ 以上で顕著であった(図1).

北海道における温暖化が水稻の出穂時期に及ぼす影響評価のための加温試験

○濱寄孝弘・根本 学・廣田知良（北農研）・鮫島良次（東北農研）

はじめに

温暖化の進行に伴い、我が国の水稻生産については本州以南では減収が予測される一方、北海道では増収が予測されている。この北日本の増収は主に生育期間および登熟期間の延長による乾物生産量の増加に起因している。しかし、現在北海道において栽培されている水稻品種は短い夏に合わせて育種されており、日長感応性を持たず出穂までの生育期間が短い特性を持つため温暖化によるメリットを生かすことができない懸念がある。一方で本州の品種を導入しても日長感応性を有するため、温度上昇のみを根拠として期待されるほどは出穂・開花が前進せず、登熟に至らない可能性がある。そこで、基本栄養生長性・日長感応性および栽培地域の異なる複数品種を対象に、30年程度の近い将来の温暖化（1～最大2℃）を想定した水田水温上昇試験を北海道において実施し、出穂日への影響を調査したので報告する。

実験方法

試験は北海道農業研究センター（札幌市羊ヶ丘）の試験水田にて実施した。供試品種は、それぞれ主な栽培地の北から順に（傾向として基本栄養生長期間が短く、日長感応性が弱い順）、きらら 397、おぼろづき、あきたこまち、ササニシキ、ひとめぼれ、コシヒカリ、日本晴、レイハウ、にこまるの9品種とした。加温処理は本田のみで行ない、無加温の対照区と加温区の2処理×2反復とした。1区画は2.5 m×3.5 mとし、加温区は波板で囲い、条間の水底に電熱線を設置して対照区の水温+2℃を目標に加温制御した。育苗および本田の施肥管理その他は慣行に従った。移植日は2008年5月27日とし、移植時の葉令は4.5前後（4.0-5.0）だった。各区・品種につき4株の出穂日を穂毎に調査し、株内の50%の穂が出穂した日をその株の出穂日とし、平均出穂日を求めた。水温（水底にて）と気温（高さ1.5 m）を測定した。

結果と考察

加温区の水温は、試験開始時は日平均で対照区+0.6℃程度だったものの徐々に上昇し、最終的には+2.0℃、試験期間平均では+1.5℃となった。出穂は早い順に、きらら 397、おぼろづき、あきたこまち、ササニシキ、ひとめぼれ、コシヒカリ、日本晴、レイハウとなり、にこまるは10月3日の調査終了までには出穂しなかった（図1：にこまるは除外）。北海道における水稻の出穂期上限は、出穂後40日間の積算温度が750℃・日を確保できる日とされており、試験実施場所においては8月12日にあたる。1年のみのデータでは結論出来ないが、この基準で見ると、道外品種ではあきたこまちが栽培できる可能性がある。現在より平均して2℃気温が上昇した場合、8月25日が出穂期上限となる。加温によって全品種とも出穂は前進し、加温区で8月25日までに前出穂したのは、道外品種ではあきたこまち～ひとめぼれまでである。一方で、現在の道内品種は、出穂期から出穂期上限までに20日以上の開きを生じると考えられる。本試験では気温は上昇していないため、実際の気温も含めた温暖化環境では出穂はさらに前進するだろう。しかし、コシヒカリ以降の品種は加温区でも温暖化後の出穂期上限より15日以上出穂が遅く、気温上昇の影響が水温加温処理の影響と同等～それ以上としても、2℃の温暖化ではこの出穂期上限内での出穂は望めないだろう。さらに、きらら 397～ひとめぼれまでの品種は移植

一 出穂までの積算水温が対照区と加温区とでほぼ同じであったが，コシヒカリ以降の品種では明らかに加温区で対照区より多くの積算水温を要していた。これらの品種で加温区でより多くの積算水温を要したのは，日長感応性により出穂日の前進が妨げられたためと考えられ，これ以上温暖化が進んでも出穂日の前進がほとんど望めないことを示している。

以上，温暖化後の北海道の水稲の早晩性の適性について，従来定性的に言われて来たことを実際の水田で定量的に確認することが出来た。今後はさらに気温および日長の影響も含めた試験・解析を進め，温暖化後の北海道の条件に適した基本栄養生長性・日長感応性について明らかにすることが必要である。

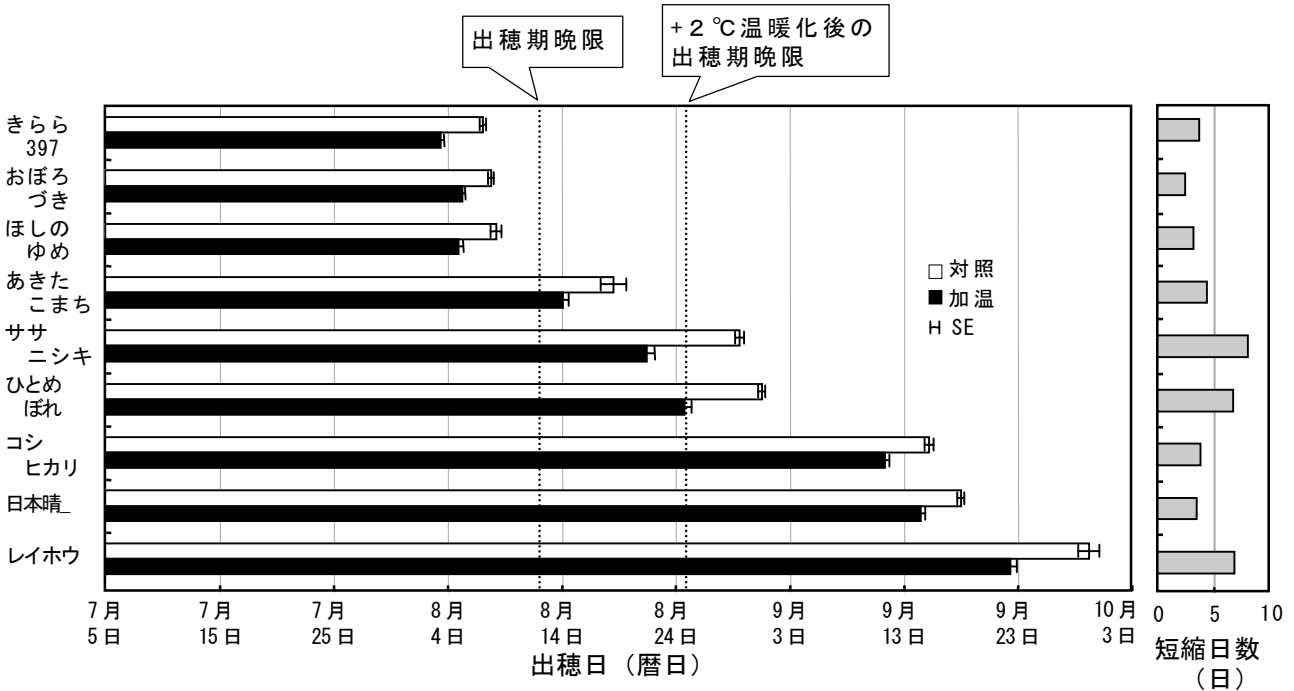


図1. 早晩性の異なる水稲品種の北海道における出穂日，および水田水温上昇が出穂日に及ぼす影響

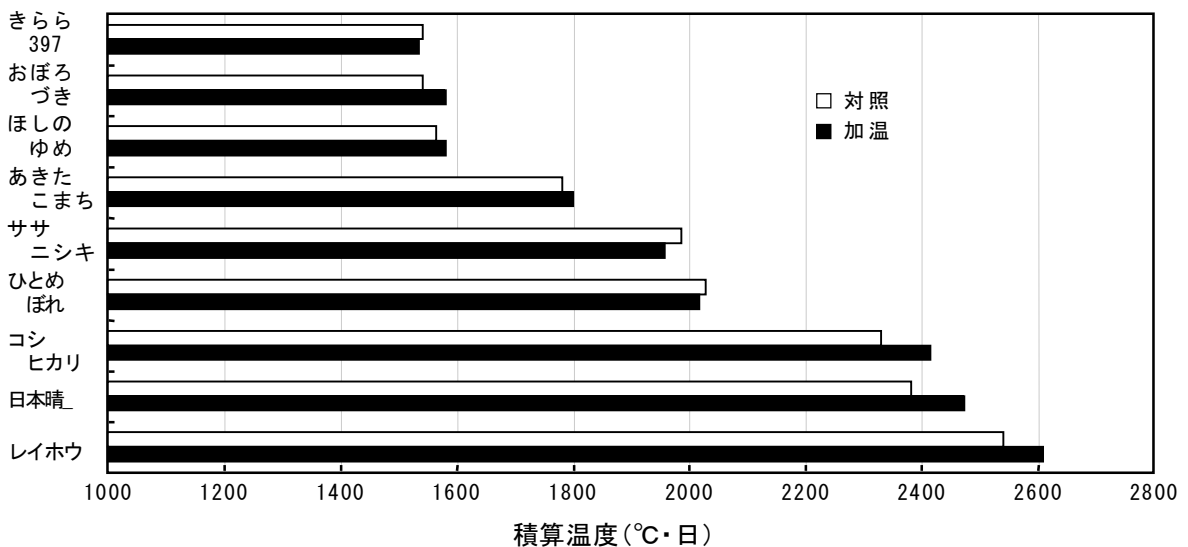


図2. 北海道における水温上昇が早晩性の異なる水稲品種の移植から出穂までの積算温度に及ぼす影響

北海道における現在までの気温変化にともなう 水温と農業気候資源の変化

○ 木村 愛・太田俊二（早大人間科学）

目的

これまでの研究で、温暖化の影響は緯度の高い地域ほど受けやすいといわれている。そこで、本研究の目的は日本でもっとも緯度の高い地域である北海道を対象にして（１）前世紀後半の気温、日射量、湿度などの気象条件や水温がどのように変化してきたのかを調べること、（２）農業気候資源がどのような変化をしてきたのかを評価することとした。

方法

気象データは北海道の森気象観測所を除く、22地点の気象観測所で観測された、1941-1970年、1951-1980年、1961-1990年、1971-2000年の平年値を用いた。使用した気象要素は各月の日平均気温、全天日射量、日照時間、水蒸気圧、相対湿度、雲量である。

気象条件の変化による水温の変化を調べるために、物理的熱収支に基づく Ohta et al. (1993)の水温モデルと気温、全天日射量、水蒸気圧、雲量、降水量の気象データを使用し水温を求めた。全天日射量が観測されていない場合には日照時間から推定し、水蒸気圧が観測されていない場合には相対湿度から推定した。また、雲量が観測されていない場合にはもっとも近くの気象観測所のデータを代わりに用いた。

本研究では、気温や日射量などの温量資源の他、水資源の評価も行うために可能蒸発量の変化をみた。可能蒸発量の推定方法は熱収支式で得られた水温と気象要素から熱収支法を用いて行った。農業気候資源の指標として、10度以上の積算気温、15度以上の積算水温を用いた。

結果

1. 北海道全体の年間平均気温は1941-1970年と比べて、1951-1980年に0.1度、1961-1990年に0.2度、1971-2000年に0.4度上昇していた。
2. 1941-1970年から1971-2000年の間でもっとも気温が上昇していたのは札幌気象観測所で観測された0.7度であった。この温度上昇は土地利用の変化にともなう気温の上昇であることが考えられる。しかしながら、他のどの観測所においても、この期間に気温の上昇傾向は認められる。
3. 気温の上昇は特に冬季の間でみられ、北海道全体の平均では0.6度の上昇が認められた。とくに1月、12月の温度の上昇は大きく、約0.7度程度の増加があった。
4. 年間の全天日射量は、前世紀後半に約6%増加し、特に3月から5月の春季での変化が大きかった。
5. 水蒸気圧は年間ではほとんど変化が見られなかったが、1941-1970年と比べて1971-2000年では、温かい時期に湿潤傾向、寒い時期には乾燥傾向にあることがわかった。
6. 北海道全体での水温では、年平均で1941-1970年と比べて、1951-1980年に0.5度、

1961-1990年に0.3度、1971-2000年に0.5度上昇し、気温や日射量の増加にともない、水温も上昇していることがわかった。

7. 年平均水温が1度以上上昇している観測所は留萌、札幌、苫小牧の3つの地点であった。また、稚内では水温が0.1度程度低下しているという結果が得られた。
8. 年間水温が1度以上上昇していた時期は、留萌では冬季よりも夏季、札幌では冬季、苫小牧では年間を通じてみられた。これらの理由として、留萌では春先の全天日射量の増加、札幌での冬季の気温の上昇などが挙げられる。このことから、水温の値はその地域の気象変化に敏感に反応していることが考えられる。
9. 一方、年平均水温が0.1度低下している稚内では、気温、日射量とも増加していたが、冬季に湿潤になっているために、この時期の水温が低下したことが考えられる。このことから、気温、日射量だけでなく水蒸気圧が水温に与える影響が大きいといえる。
10. 各観測所の水温気温差をみると、1941-1970年に比べて、1971-2000年では、ほとんどの観測所で春季の水温気温差の減少が認められた。夏季においては標高の高い地域での水温気温差の増加が認められ、比較的標高の低い地域では減少傾向にあることがわかった。
11. 年間平均可能蒸発量は、1941-1970年の358mmから1971-2000年には408mmとなり、50mm増加していることがわかった。室蘭、稚内を除いたすべての地域で蒸発量の増加がみられた。時期別にみると、生育期間中の蒸発量の増加傾向にあり、7月では月間で10mmの蒸発量の増加がみとめられた。
12. 気温の上昇に伴って、北海道の積算気温は平均で、1941-1970年と比べて1951-1980年に17度、1961-1990年に29度、1971-2000年に84度上昇していた。もっとも温度上昇の大きい地域は網走の528度であり、この地域は1941-1970年に900度程度であった積算気温が1433度まで増加していることがわかった。その他の地域では50-100度程度の増加がみられた。
13. さらに、積算水温は、1941-1970年と比べて、1951-1980年に180度、1961-1990年に110度、1971-2000年に158度上昇していた。積算水温が300度以上上昇した地域は、北見枝幸、雄武、留萌、岩見沢、苫小牧でみられた。積算気温の増加した地域と積算水温の増加した地域はほとんど一致していなかった。

以上のように、北海道全体での気象要素は気温、日射量などが前世紀後半にかけて、とくに冬季の間で上昇していることがわかった。この温量資源の増加をうけて、水温も増加し、積算気温や積算水温といった農業気候資源の指標の値も増加傾向であることがわかった。一方、水資源の観点からは、このような温量資源の増加にともない、蒸発力が生育期間中に高まってきたことがわかった。また、水温気温差の変更から、現在までの気象条件の変化が水面での熱収支を変化させていることが考えられる。

引用

Ohta, S. et al. *Clim. Change*, **23**, 69-90 (1993).

テレコネクションパターンによる3つの主要農業地域における
夏季天候変動—北日本、中国黒竜江省およびインドネシア—

菅野洋光((独)農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター)

1. はじめに

本研究では、太平洋西部熱帯海域における SST 変動と北日本の夏期天候の変動との関係について確認する。また、今後の食料問題の鍵を握りそうな地域として、北日本、中国黒竜江省、およびインドネシアジャワ島を選択し、グローバル気候システムと夏期天候変動との関連性について検討する。

2. データ

北日本夏期平均気温は、気象台・測候所の観測値を平均して求めた。グローバル気象データは、NCEP/NCAR の再解析データを、SST データは NOAA の ERSST, Ver. 3 を用いた。また、デラウェア大学で作成している緯度経度 0.5 度グリッドデータを用い、領域平均した地上気温・降水量変動に関する解析を行った。

3. 結果

図 1 には、北日本における夏期気温平年偏差 (JJA) と水稻作況指数の時間変化を示す。気温は、1950 年代は年々の変動が大きい、1960 年代から 1970 年代前半まで年々変動が小さくなる。そして、1970 年代後半から再び年々の変動が大きくなり、冷夏と暑夏が交互に発生することになる。1970 年代後半は、熱帯海洋 SST のジャンプなど、急激な気候変動の時期 regime shift として知られており、北日本への PJ パターンの影響が顕在化した時期として捉えることができる。稲の作況指数は概ね気温変動と良く一致しており、特に低温の著しかった 1993、2003 年には作況指数も低く、大冷害となっている。すなわち regime shift 以降は、気温の年々変動の増大と同時に冷害も頻発しており、北日本の農業にとって非常に重要な時期となっている。

図 2 には、北日本夏期気温 (JJA) と全球 500hPa 高度 (JJA) との相関係数分布を、図 3 には同中国黒竜江省夏期気温との相関係数分布を示す。北日本については、インドシナ半島を中心として負の相関が高く、ロスビー波伝播の影響が明瞭に把握できる (図 2)。また、東シベリアを中心としてやはり負の相関が高く、オホーツク海高気圧形成との関連が明瞭である。一方、中国黒竜江省についてみると、領域に一致した部分の正の相関は明瞭だが、インド北部からインドシナ半島北部にかけての相関は認められるものの弱く、東シベリア域には有意な相関は認められない (図 3)。偏西風の風下に相当するアラスカ半島付近に、中国域の変動と対応した正の相関分布があるが、ヨーロッパ以東の風上側には、変動の作用中心として考えられるような有意な相関は認められない。このように北日

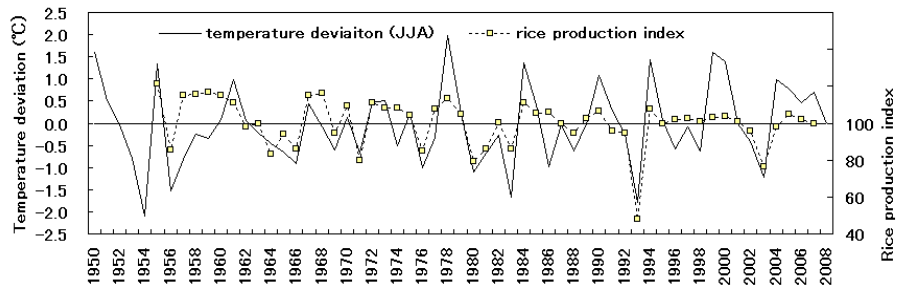


図 1 北日本夏期気温偏差と水稻作況指数の時間変化(1950~2008年).

本と中国黒竜江省は異

なった分布を示し、夏期気温の変動をもたらす原因が異なることが示唆される。

図4には、インドネシアジャワ島の降水量 (JJA) と全球地上気圧 (JJA) との相関係数分布を示す。ジャワ島南方～オーストラリア北部の広い範囲で負の相関を示し、雨量の増加に気圧の低下が伴うことが把握できる。また、北日本に正の相関領域が見られ、ジャワ島の雨量が多いときには気圧が高まる、すなわち北日本夏期気温が高くなることが示唆される。これについては、インドネシアジャワ島と北日本がロスビー波PJパターンの影響圏にあると仮定するならば、PJパターンの強弱に両地点が同時的に影響されていることが原因として考えられる。水稲に関して、ジャワ島では通例2季作が行われ、1季目が12月、2季目が5月を中心の播種となる。12月は雨季だが、5月の2季目は乾季のはじめにあたっており、6～8月の雨量変動は、特に天水田地帯に大きく影響すると考えられる。

以上のような視点で、ロスビー波等グローバルな場に関係した気候環境変動を整理し明らかにしていくこと、すなわち、ロスビー波源と伝播先とで天候がどの程度同期的に変動するのか、その場合の農作物収量はどの程度関連するのかをより多くの地域で明瞭にしていくことで、今後の地球規模での農作物収量予測、および食料相互需給態勢の構築が可能になると考えられ、今後の重要な研究の推進方向であると考えている。

NorthernJapan_temp(JJA)&500height(JJA) 1982-2006

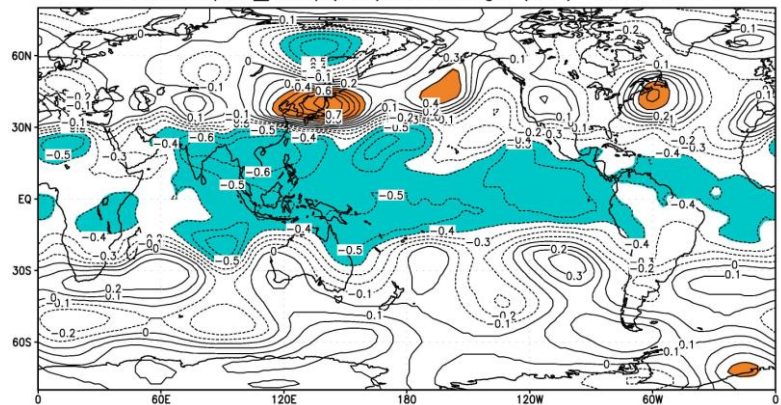


図2 北日本夏期気温 (JJA) と夏期 500hPa 高度 (JJA) との相関係数分布 (1982～2006 年). スクリーンは危険率 5%以下で統計的に有意.

China_temp(JJA)&500height(JJA) 1982-2006

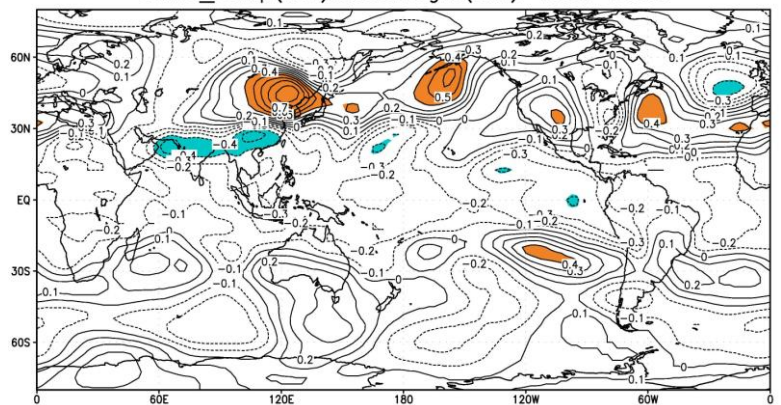


図3 中国黒竜江省夏期気温 (JJA) と夏期 500hPa 高度 (JJA) との相関係数分布 (1982～2006 年).

Precipitation of Java and SLP, JJA, 1982-2006

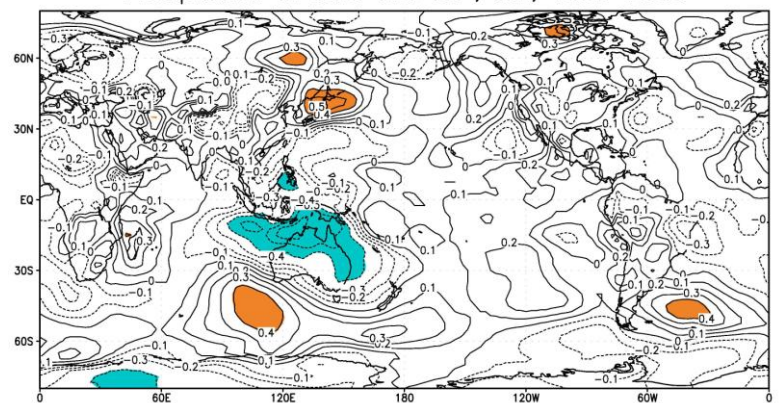


図4 インドネシアジャワ島降水量 (JJA) と地上気圧 (JJA) との相関係数分布 (1982～2006 年).

>>>支 部 だ よ り<<<

1. 2008 (平成20) 年度支部大会

2008 年度支部大会は北海道支部と合同で、函館市の「函館市産学官交流プラザ」において、11月25・26日に開催されました。25日には「北日本の気候変動・温暖化と農業影響および今後の研究展望」と題してシンポジウムが行われ、7氏による講演と討議が行われました。26日の一般研究発表会では18題の発表があり、活発な討議が行われました。今号には大会シンポジウム・研究発表の要旨を掲載しました。

26日の総会において、会則第6条(3)に基づき、ト蔵建治元支部長を名誉会員とすることが決まりました。また永山宏一会員が2008年度奨励賞を受賞しました。

2. 会員動静

[入会] 佐藤睦人、緑川弥寿彦

[退会] 遠藤貴司、川合宏、佐藤隆

2008年11月4日現在の会員数：149

名誉会員 1名

会友 1名

会員 132名 (支部のみ77、本部のみ24、支部+本部31名)

図書館等 15 (支部のみ4、本部購読会員8、本部賛助会員1)

3. 寄贈図書

日本農業気象学会本部および各支部から会誌の寄贈がありました。ご利用の節は支部事務局までご連絡ください。

4. 2009 年度功労賞受賞候補者推薦のお願い

日本農業気象学会東北支部功労賞規程に基づき、2009年度の候補者をご推薦ください。締め切りは2009年6月15日です。手続きの詳細については事務局までお問い合わせください。

5. 2009 年度奨励賞受賞候補者推薦のお願い

日本農業気象学会東北支部奨励賞規程に基づき、2009年度の候補者をご推薦ください。締め切りは2009年6月15日です。手続きの詳細については事務局までお問い合わせください。

日本農業気象学会東北支部会則

昭和30年	4月	1日	実施
昭和31年	12月	19日	一部改正
昭和35年	12月	22日	同
昭和37年	12月	4日	同
昭和39年	1月	31日	改正
昭和42年	1月	27日	一部改正
昭和45年	12月	19日	同
昭和49年	9月	13日	同
昭和53年	10月	28日	同
昭和59年	9月	27日	同
平成2年	8月	28日	同
平成8年	10月	7日	同
平成12年	7月	27日	同
平成14年	7月	31日	同
平成19年	11月	8日	改正

第1章 総 則

第1条 (名称)：本会は、日本農業気象学会会則（以下、本部会則）第3章第7条に基づき、日本農業気象学会東北支部とする。

第2条 (目的)：本会は日本農業気象学会の趣旨に則り、東北における農業気象学の進歩、知識の向上並びに農業気象学を活用した農林水産業の振興と発展をはかることを目的とする。

第3条 (事務局)：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターやませ気象変動研究チーム内におく。

第2章 事 業

第4条 (事業)：本会は第2条の目的を達成するために次の事業を行う。

- (1) 農業気象についての研究発表会、講演会、談話会などの開催。
- (2) 機関誌「東北の農業気象」の発行。
- (3) その他必要と認める事業。

第5条 (事業年度)：本会の事業年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。

第3章 会 員

第6条 (会員)：本会の会員は、本部会則に基づき東北支部に所属する日本農業気象学会会員（以下、本部会員）ならびに支部会員、賛助会員、名誉会員とする。

- (1) 支部会員は本会の趣旨に賛同し、入会した者。
- (2) 賛助会員は本会の目的に賛同する個人または団体で別に定めるところによる。
- (3) 本会の発展に著しい貢献をした者のうち評議員会が推薦し総会が承認した者

を名誉会員とする。

第4章 役員

第7条(役員)：本会に次の役員をおく。

支部長 1名 評議員 若干名 監査 2名 幹事 若干名

第8条(任務)：

- (1) 支部長は支部の会務を総理し支部を代表する。
- (2) 評議員は評議員会を構成し重要な会務を評議決定する。
- (3) 監査は本会の会計を監査する。
- (4) 幹事は支部長の命を受け本会の事務を執行する。

第9条(選出)：

- (1) 支部長は評議員会が選出し、総会に報告する。
- (2) 評議員は本部会員ならびに東北地方在住の支部会員のうちから選挙により決める。うち本部会則に基づく本部理事ならびに本部評議員を若干名互選する。
- (3) 監査は支部長が会員の中から2名を委嘱する。
- (4) 幹事は支部長が会員の中から委嘱する。

第10条(任期)：役員任期は2年とし、重任を妨げない。

第11条(解任)：役員または顧問が東北地方を離れた場合には自然解任となる。

第5章 顧問

第12条(顧問)：本会に顧問をおくことができる。顧問は支部長が委嘱する。

第6章 会議

第13条(会議)：本会には総会と評議員会をおく。

- (1) (総会)：年1回開催し支部長が招集する。但し臨時に招集することができる。
- (2) (評議員会)：必要に応じ支部長が招集する。幹事は評議員会に出席し発言することができる。

第7章 会計

第14条(会計年度)：本会の会計年度は事業年度と同じである。

第15条(経費)：本会の経費は支部補助費(本部経費)、支部会員ならびに賛助会員の会費および寄付金などによる。

第16条(会費)：本部に所属しない会員の会費は次のとおりとし、前納とする。

支部会員 1,500円

賛助会員については別に定める。

第17条(決算)：会計の決算は会計年度終了後速やかに監査を経てその後最初に行われる総会に報告しなければならない。

第18条 その他は本部会則に従う。

第19条(会則の改正)：この会則の改正は総会の決議により行う。

(付則) 本会則は平成20年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部功労賞規程

平成2年4月1日 制定

1. 会則第2章第4条(3)に基づき本規程を設ける。
 2. 功労賞は支部の活動、運営等に永年貢献のあった会員に贈る。
 3. 功労賞受賞者には賞状と賞牌を贈る。
 4. 功労賞は原則として毎年贈る。
 5. 功労賞受賞者を次の手続きで決定する。
 - (1) 功労賞受賞候補者の推薦は会員が行う。推薦者は5名以上の推薦人(役員1名以上を含む)と推薦理由を本会誌閉じ込みの推薦書に記入し、事務局へ届け出る。
 - (2) 推薦書の届けは事業年度内に開催される東北支部会の2ヶ月前までとする。
 - (3) 支部長は受賞候補者を評議員会にはかり受賞者を決定する。
 6. 授賞式は総会で行う。
 - (1) 15年以上の会員で、原則として役員を務めた会員。
 - (2) 支部長がとくに功績を認め推薦した会員。
- (付則) 本規程は平成2年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部奨励賞規程

平成15年4月1日 制定

1. 会則第2章第4条(3)に基づき本規程を設ける。
 2. 奨励賞は原則として前年度の支部会誌に論文を表し、東北の農業気象研究の進展に功績のあった会員若干名に贈る。
 3. 奨励賞受賞者には賞状と金一封を贈る。
 4. 奨励賞は原則として毎年贈る。
 5. 奨励賞受賞者を次の手続きで決定する。
 - (1) 奨励賞受賞候補者の推薦は評議員および幹事が行う。
 - (2) 支部長は受賞候補者を評議員会にはかり受賞者を決定する。
 6. 授与式は総会で行う。
- (付則) 本規程は平成15年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部編集委員会規程

当編集委員会は、以下の手順で「東北の農業気象」の編集作業にあたる。この作業は、投稿論文の内容を読者に理解しやすくすることを目的とする。

1. 大会で口頭発表されたすべての課題の投稿を依頼する。
2. 編集委員会は、投稿規程に基づいて投稿された原稿を審査する。
3. 編集幹事は、投稿原稿の内容に応じて編集委員1名に査読を依頼する。
4. 適切な査読者が編集委員にいない場合、編集委員以外に査読を依頼できる。
5. 査読者は、査読表に従って査読結果を編集幹事に報告する。
6. 査読結果を吟味したうえで、編集幹事は投稿者に原稿の修正を依頼することもある。
7. 「進む研究」、「ぐるっと東北」、「研究レビュー」、「トピックス」、「小講座」などの記事を企画し、評議委員会の承諾を得て、編集にあたる。

会誌「東北の農業気象」投稿規程

1. 投稿

1.1 著者は、必要事項を記入した投稿票と原稿を一緒に、原本1部とコピー2部を編集幹事に送付する。

1.2 ワープロを用いた投稿には、A4サイズの内紙を縦向き、横書きに使い、24字22行とし、行間を十分に開けて原稿を作成する。積極的に再生紙を利用し、両面印刷する。これらの原稿4枚で、A4サイズの縦向き2段組の刷り上がり1ページになる。手書きの場合、市販のA4サイズ400字詰め原稿用紙を用いる。

1.3 原稿本文の右肩に、1, 2, 3, 4と通し番号を記す。図表は同様に、和文の場合は、図1, 図2, 図3および表1, 表2, 表3と、英文の場合はFig.1, Fig.2, Fig.3, Table1, Table2, Table3とする。

1.4 投稿原稿は大会の終了日から2月末日まで受け、受理日は編集幹事が原稿を受理した日とする。

2. 投稿の種類

2.1 「論文」、「短報」、の他に「進む研究」などの記事を設ける。

2.2 「論文」は比較的完成度の高い研究結果を報告するもので、刷上りを原則として6ページ以内とする。

2.3 「短報」は有益な研究結果を速報するもので、刷上りを原則として4ページ以内とする。

2.4 「論文」、「短報」は、他の雑誌に掲載したもの（投稿中も含む）と同一であってはならない。すでに掲載された内容を一部重複して投稿する場合には、登校原稿の40%以下に重複内容を圧縮する。

2.5 「進む研究」は実用に近づきつつある研究成果を紹介するもので、刷上りを4ページ以内とする。

2.6 このほか、著者は「資料」「解説」など、投稿内容に相応しいジャンルの設置を、編集幹事に要請できる。

3. 「論文」、「短報」の執筆要領

3.1 投稿票

3.1.1 機関誌に綴じ込まれた投稿票に以下の例にしたがって、表題・著者名・所属を和文と英文で書く。表題は内容を的確かつ簡潔に表現するものとし、副題はできるだけ避ける。所属は研究の主たる部分を遂行した場所とし、現在の所属が異なる場合は脚注に現所属を記す。

(例)

水温と地温が氷稻の生育に及ぼす影響

佐藤忠士*・工藤敏雄**

*岩手県農業試験場

**岩手大学農学部

Effect of water and soil temperature on paddy rice growth

Tadashi SATOH* and Toshio KUDOH**

*Iwate Agricultural Experiment Station, Takizawa 020-01

**Iwate University, Faculty of Agriculture, Morioka 020

.....
*現在：佐藤農場 (株)

*Present address : The Satoh Farm

3.2 本文

3.2.1 本文には数字で見出しをつけて、「1. はじめに」「2. 材料および方法」などとする。これらを細分するには、1.1, 1.2 を、さらに細分するには 1.1.1, 1.1.2 を用いる。ただし、要約、謝辞には見出しはつけない。

3.2.2 本文は原則として以下の順に構成する。

要約

本論の内容を簡潔にわかりやすく、和文か英文で書く。和文は 350 字以内、英文は 150 語以内とする。文頭に「要約」とせず、直接書き始める。末尾に改行して和英キーワード 5 語程度を、それぞれ五十音順、アルファベット順につける (例参照)。

(例) 畜産廃棄物の中でも特に廃棄処理にコストがかかる豚尿を、培養液として利用し、サラダナ、コマツナ、セルリの生育に及ぼす影響を解析した。その結果、サラダナ、コマツナで生育は劣ったものの、セルリの生育に市販の培養液との差は認められなかった。このことから、作物の種類によっては、豚尿を浄化しながら作物生産に利用する水耕栽培システムの開発が可能といえた。

キーワード：浄化、水耕栽培、セルリ、豚尿

Keywords: Celery, Pig-urine, Purify, Solution-culture.

はじめに (緒言、まえがき)

研究の背景 (問題の性質・範囲)、これまでの研究の大要との関係、研究を開始した動機、研究の目的・意義などを説明する。特に、著者自身の過去の成果を踏まえて進めた研究の場合、これまでに解明した点と未解明の点を整理した、研究に至った経緯等を説明する。

材料および方法

実験や測定に使った作物や機材、処理方法・測定方法や分析方法を説明する。

結果

実験結果を、主観的判断を交えずに、図表を用いて忠実に表現する。考察の材料となる結果の説明は省かない。逆に、考察材料にならない結果には、特別な理由がな

いかぎり、ふれない方が望ましい。

考察

実験結果を、引用文献などを用いて、様々な角度から理論的に解析する。また、この最後に「実験結果から何がいえるのか」を結論づける。

まとめ (摘要)

要約で英文を書く場合のみ必要 (和文で書く)。研究の背景等を簡単に書き、結果と考察を箇条書きにする (例参照)。

(例) 米の粒厚が食味に及ぼす影響はこれまで明らかにされていない。そこで、収穫1ヶ月後の1992年産と1993年産ササニシキを用いて、粒厚別の食味官能試験を実施した。なお、1992は豊作、1993年は凶作であった。

(1) 1992年産米の粒厚は平均2.09mm、標準偏差0.14mmであった。また、1993年産米の粒厚は平均1.79mm、標準偏差0.26mmであった。

(2) 1992年産では、粒厚が1.65mm以下に低下すると食味が急激に低下した。一方、1993年産では、粒厚の低下に伴い食味は直接的に低下した。

(3) 1993年産の食味は1992年産に比べて著しく低く、50%以上の人がまずいと感じる米の粒厚は、1992年産で1.52mm以下、1993年産で1.71mm以下であった。

(4) これらのことから、粒厚の低下により食味が低下することが明らかになった。しかし、同じ粒厚でも、1993年産が1992年産の食味より劣ったことから、凶作だった1993年産米の食味の悪さは、粒の小ささだけでは説明できないといえた。

謝辞

必要に応じて書く。

3.2.3 和文は平仮名まじりとし、数式の上下には1行ずつスペースをとる。

3.2.4 文章中の式は、 a/b 、 $\exp(t/r)$ のように書く。

3.2.5 単位は統一して使用する限り、S I単位、CGS単位、MHK単位のどれでもよい。

3.3 図表

3.3.1 図・表は、要約に合わせて和文か英文にする。写真は図として扱い、図1、Fig.1のように表現する。

3.3.2 図・表の説明は、要約に合わせて和文か英文にする。本文中での引用は「図1、表1によれば」あるいは「Fig.1、Table1によれば」とする。

3.3.3 図は原則としてA4サイズのトレース用紙に墨書きとする。鮮明であれば、コンピューターのプリンタやプロッタでA4サイズ上質紙にうちだしたのもよい。

3.3.4 原図の大きさは、原則としてA4サイズ以下で、刷上がりの2倍とする。特に、図中の文字や数字の大きさは縮小を考慮して記入する。刷上がりの図の幅が、1段分か、2段分かを考慮する。

3.3.5 表は、本文とは別のA4サイズの紙に書く。刷上がりの表の幅が、1段分か、2段分かを考慮する。複数の表を同じ用紙に記入してもよい。

3.3.6 迅速に理解できない表は使わない。複雑な表は、簡略化あるいは図形化に

努める。例えば、考察に利用しない数値は、その数値自体が特別な意味を持たないかぎり削除する。

3.3.7 本文中の図・表の挿入箇所に、上下各1行づつスペースをあけて説明文を記入し、これを朱で囲む。

3.4 引用文献

3.4.1 著者名のABC順に論文の末尾に一括する。

3.4.2 「著者, 年: 題目名, 誌名 (略), 巻, ページ。」の順に従って書く。

(例)

ト蔵建治, 1991: 冷害と宮沢賢治「グスコーブドリの伝記」の背景, 農業気象, 35, 35-41.

小林和彦, 1994: 影響評価モデル. 日本農業気象学会編「新しい農業気象・環境の科学」pp190-206. 養賢堂.

3.4.3 本文中での引用は番号でなく、「菅野(1994)によれば」、「これらの報告は多い(井上;1994)。」などとする。

4. 「進む研究」などの記事の執筆要領

4.1 機関誌に綴じ込まれた投稿票に「論文」と同様に、表題・著者名・所属を和文で書く。投稿を希望するジャンルを選択または記述する。英文で併記してもよい。

4.2 本文の構成は著者の自由とする。内容に適した理解しやすい構成をとること。

4.3 仮名使い、数式の記述、単位、図表の書き方は、「論文」、「短報」の執筆要領に従う。

4.4 「引用文献」と「参考文献」の使い分けを明確にし、書き方は、「論文」、「短報」の執筆要領に従う。

5. 著者校正

5.1 著者は初稿を校正する。再校以後は事務局で校正する。校正の際の加除筆は原則として認めない。

6. 別刷

6.1 別刷の必要部数は投稿票に記入する。

6.2 依頼原稿以外の別刷代はすべて実費とする。

日本農業気象学会東北支部役員名簿（2007・2008年度）

支 部 長	岡田 益己	岩手大学
理 事	皆川 秀夫	北里大学
永年功労会員		
表彰審査委員	岡田 益己	岩手大学
本部評議員	多田 久	元青森県農業大学校
	渡邊 明	福島大学
	川方 俊和	東北農業研究センター
評 議 員	清藤 文仁	青森県農林総合研究センター
	伊五沢正光	岩手県立農業大学校
	高橋 政夫	岩手県南広域振興局
	畠山 均	大船渡農業改良普及センター
	佐藤 雄幸	秋田県農林水産技術センター農業試験場
	田村 晃	秋田県農林水産技術センター農業試験場
	齋藤 博行	元山形県農業総合研究センター
	三浦 信利	山形県庁生産技術課
	斉藤 満保	宮城大学
	日塔 明広	宮城県産業経済部
	手代木昌弘	福島県農業総合センター
会計監査	大谷 裕行	元福島県農業総合センター
	大清水保見	岩手県農業研究センター県北農業研究所
幹 事	菊池 晴志	青森県農林総合研究センター
	木村 利行	青森県農林総合研究センター
	沼田 芳宏	岩手県農林水産部
	白井 智彦	岩手県農業研究センター
	島津 裕雄	本吉農業改良普及センター
	小峰 正史	秋田県立大学
	高山 真幸	秋田県農林水産技術センター
	三浦 信利	山形県庁生産技術課
	富樫 一幸	山形県庄内総合支庁
	本馬 昌直	福島県農業総合センター農業短期大学校
	鈴木 幸雄	福島県農業総合センター

東北の農業気象 第53号

2009年3月発行

編集・発行 日本農業気象学会東北支部

〒020-0198 盛岡市下厨川字赤平4

東北農業研究センター内

電話 019-643-3408

振替口座 02270-7-4882
