

関東の農業気象

E-Journal

第1号

日本農業気象学会 関東支部会誌 電子媒体版
平成16年11月(2004)

2004年度日本農業気象学会・北陸支部関東支部合同例会 講演要旨集

2004年12月2日 湯沢カルチャーセンター(新潟県南魚沼郡湯沢町)

日本農業気象学会 関東支部事務局
〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1
東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻

関東の農業気象 E-Journal 目次

シンポジウム 「水稻栽培への温暖化影響」

- 高温条件下における高品質米生産の現地対応と成果 水沢誠一 1
- 高 CO₂ 濃度が水稻の不稔を増やす？
-FACE 圃場における穂温の計測とモデリング- 吉本真由美 4

一般研究発表

- 2004 夏季高温年の茨城県つくば市真瀬における水稻単作田の CO₂ 収支
間野正美, 宮田明, 永井秀幸, 山田智康, 小野圭介, 齊藤誠 9
- Isotopic air sampling in a rice paddy to characterize CO₂ and CH₄ gas exchanges
G.H. Han, H. Yoshikoshi, H. Nagai, T. Yamada, K. Ono, M. Mano, A. Miyata and Y. Harazono 10
- 慣行栽培された稲単作水田上での乱流フラックスと微気象の季節変化と年変動について
永井秀幸, 山田智康, 齊藤 誠, 吉越 恆, 小野圭介, 韓 光鉉, 宮田 明,
M.A. Baten, 原菌芳信 11
- 気象条件と生育量に基づく水稻玄米品質予想
第一報 気温と籾数によるコシヒカリ乳心白粒発生予想 金高正典, 高橋敦子, 東聡志 12
- 水稻の生育診断のための簡易調査法について 脇山恭行, 井上君夫, 中園 江, 大原源二 13
- 水稻の葉色と気温の関係について 高橋行継 14
- 施設栽培長段トマトの時間吸水量の気象要素による推定 細野達夫, 細井徳夫 15
- コムギ種子水分の推定 中園 江, 井上君夫, 脇山恭行, 大原源二 16
- サイレージ用チモシーの乾燥過程について
星河聡, 松岡延浩, 出口健三郎, 白旗雅樹, 今 久 17
- 乾燥模擬葉と実葉温差を用いたトウモロコシ個体からの蒸散量の算定
今 久, 松岡延浩, 劉 利民 18
- 屋上緑化の薄層基盤における高温障害に関する研究
遠藤悠希, 荒井京子, 堀江勝年, 青木正敏 19
- 気候緩和機能増進技術に関するモデル開発と指標化について
気候緩和研究グループ (代表 井上君夫) 20
- 土壌フィルターによる NO_x 除去の可能性 関 平和, 奥村綱雄 21
- 4 成分型放射収支計による入射短波・長波放射の測定精度の検討
宮田明, 吉越恆, 山田智康, 小野圭介, 永井秀幸, 間野正美 22

日本海沿岸の山岳斜面における大気微量成分の沈着量(3)	皆巳幸也	23
富士山頂の大気エアロゾルに対する春季・秋季の黄砂の影響		
東真紀子, 皆巳幸也, 兼保直樹, 高橋宙, 五十嵐康人, 土器屋由紀子		24
チベットにおける最近の気候変化、畜産生産と CO ₂ フラックスの関係について		
杜 明遠, 古 松, 趙 亮, 川島 茂人, 米村正一郎, 井上 聡, 加藤知道, 唐 艷鴻, 李 英年, 趙 新全		25
裸地上で観測された下向き CO ₂ フラックスの原因について	小野圭介, 宮田 明	26
多重代入法を用いた渦相関フラックスデータの欠測補完と年間値の評価		
小林義和, 宮田 明, 永井秀幸, 間野正美		27
北陸地方における 2004 年の気象災害について	小南靖弘, 横山宏太郎	28
十勝平野における 12 月の積雪期間の推定と分布	井上 聡, 広田知良, 岩田幸良	29
水ストレスを受けたダイズ光合成能力の圃場分布の可視化	大原源二, 竹田博之	30
光質の異なる蛍光灯下で栽培した葉菜類の成育及びカロテノイド含量		
高瀬将映, 大橋敬子, 劉 小桂, 富士原和宏, 蔵田憲次		31
熱帯における蒸発量の測定 (タイ, ミャンマー, ボリヴィアにおける例)		
江柄勝雄, Pradit SIRIPONG, Jeravun JARAENPUN, Eddy AJHUACHO, Rubém CASANOVA, John Ba Maw and Soe Myint		32

高温条件下における高品質米生産の現地対応と成果

水沢誠一（新潟県農林水産部経営普及課）

1 売れる米づくりの時代

平成2年産米から自主流通米価格に入札制度が導入され、平成7年には新食糧法の施行により需要動向や品質評価が米価に大きく反映されるようになった。また、平成16年度からは米政策改革が開始され、「生産すれば買ってくれる時代」から「売れる米を生産する時代」へと、米づくりが大きく変わりつつある。

2 栽培技術のポイントは安定多収から高品質・良食味米へ移行

実需者ニーズに対応した良質米生産を巡り産地間競争が激化している。また、米の外観品質や食味を簡易に測定する機器が開発・普及されたことにより、品質・食味を客観的に評価しやすくなり、生産現場にも導入が進んでいる。これに伴い、栽培技術のポイントは安定多収から高品質・良食味へ移行しており、県ではこれらに対応して水稻栽培指針の改訂を行ってきた。

3 肥培管理技術の改善による高品質・良食味米生産

平成4年2月の栽培指針改訂では、米の食味に影響するタンパク質含有率を適正範囲に抑えるため、生育後期の施肥技術が見直された。その後、平成5年の冷夏・冷害、平成6年の干ばつ・登熟期間の過高温、平成7年の低温・日照不足と異常気象が続き、収量や品質が大きく変動した。そこで、平成8年2月の改訂ではコシヒカリ栽培の基本技術を見直し、生育量や収量の目標を従来よりも抑えながら変動気象下における高品質・良食味米安定生産の実現をめざした。そして、これ以降スーパーコシヒカリ（品質・食味をさらに向上させ、商品性を高めた新潟産コシヒカリ）生産の取り組みが続いている。

4 近年は水稻生育期間が高温傾向となり、品質低下を招いている

近年は気象変動が常態化しており、水稻生育期間が従来より高温傾向となっていることに伴って、生育は早期化する傾向にある。平成11年は乳心白粒が多発生して品質が著しく低下した。これは登熟初期に当たる7月末から8月上旬の過高温が主な要因と考えられる。また、平成13年は春先からの高温経過で生育過剰となり、これが乳心白粒や未熟粒発生の要因となり品質が低下したと考えられる。このような状況で慣行の栽培体系を継続した場合、①生育量が過剰傾向になる、②出穂後の登熟期間が高温下となる、などから、高品質・良食味米生産に影響を及ぼすことが懸念され、高温条件下における新たな栽培技術対策が必要となった。

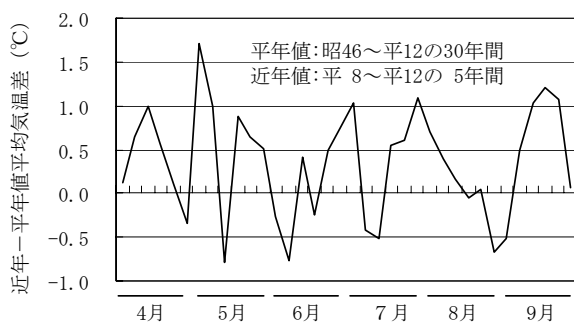


図1 平均気温の近年の傾向(長岡)

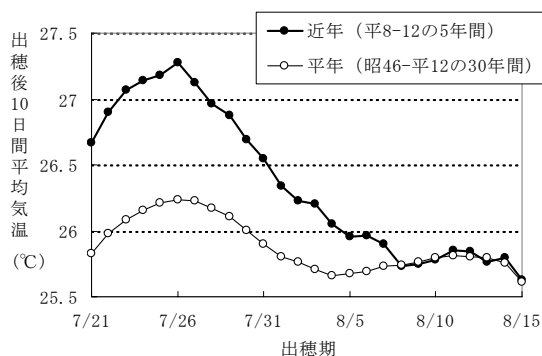


図2 出穂期ごとの出穂後10日間の平均気温(長岡)

5 気象変動の常態化に対応した高品質・良食味米生産への取り組み

出穂期を遅らせて登熟初中期の高温を回避するため、平成 12 年度以降は播種期の適正化と過度の早植え防止を重点技術対策に盛り込んだ。平成 13 年度は平坦地 5 月 10 日頃、中山間地 5 月 15 日頃の田植えを適期として推進した。また、平成 13 年度には、高温気象に対応する新たな「新潟米」栽培技術検討チームを結成して新たな栽培技術対策を検討し、検討結果を栽培指針（平成 14 年 2 月改訂）に反映させた。

表 1 平成 14 年度に向けて提案された栽培技術等の重点項目と現地への定着対策（抜粋）

栽培技術等の重点項目	現地への定着対策												
◎ 「理想生育相」の策定 → 高温気象に対応する新たな県版「理想生育相」を策定 <table><tr><td>(例)</td><td>一般地域</td><td>生育過剰地域</td></tr><tr><td>最高茎数</td><td>500～550</td><td>450～500 本/㎡</td></tr><tr><td>穂 数</td><td>380</td><td>350 本/㎡</td></tr><tr><td>収 量</td><td>540</td><td>540 kg/10a</td></tr></table> → 県版に基づいて、各地域・地区で「理想生育相」を策定。	(例)	一般地域	生育過剰地域	最高茎数	500～550	450～500 本/㎡	穂 数	380	350 本/㎡	収 量	540	540 kg/10a	○ これまでは生育状況を平年や前年と比較して判断していたが、次年度以降は「時期ごとの望ましい生育量」（指標）との比較で生育状況を判断して時期別技術対策を早期伝達し、現地での確実な実践を促進。
(例)	一般地域	生育過剰地域											
最高茎数	500～550	450～500 本/㎡											
穂 数	380	350 本/㎡											
収 量	540	540 kg/10a											
◎ 適正播種期の設定 → 平坦地域は 5 月 10 日頃、中山間地域は 5 月 15 日頃の適期田植えを確実に実践するため、県下全域で 4 月 15 日以降の播種を徹底。 (平成 15 年度以降は 4 月 20 日に変更)	○ 地域・地区推進会議で育苗センターや苗販売を行っている大規模農家の育苗計画を点検し、適期播種を協力に推進。また、この際、地域における苗配達開始期日について「協定を結ぶ」など、適期田植えが実践されるよう農業団体の主導で育苗・配布計画を申し合わせ。												
◎ 規格苗の田植え → 「稚苗は 2.0 葉で適期・適正田植え」することを徹底。	○ 地域・地区推進会議で育苗センター（生産組織の硬化管理含む）からの移植苗配布を 2.0 葉時で行う。												
◎ 過剰生育の抑制(㎡当たり 2 万 8 千粒の徹底) ① 栽植密度、植付け本数の見直し ② 適正茎数に合わせて基肥をさらに減量 ③ 生育調節技術の徹底	○ 各地域で目標とする㎡当たり植付け数を確保するため、播種量・田植期セットの点検を重点指導。												
◎ 整粒歩合の向上 ① 後期栄養の充実 ② 水管理対策の徹底 ③ 適期収穫の徹底 ④ 1.85mm 以上篩目使用の徹底	○ 土づくり啓発パンフレットを全農家に配布。 ○ 食味に最大限の配慮を行いつつ、後期栄養を確保できる的確な穂肥対応等を重点指導 ○ フェーン現象時等の的確な緊急対応の実施体制を含め、「水管理」について農地部と協議を進める。												

6 取り組みの経過と成果および今後の課題

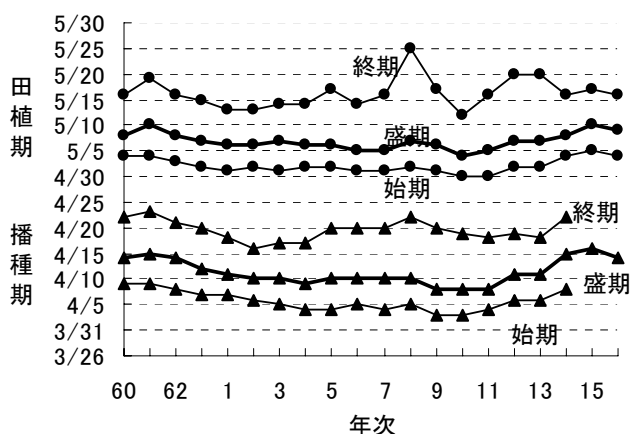


図3 播種期、田植期の推移
(新潟統計・情報センター)

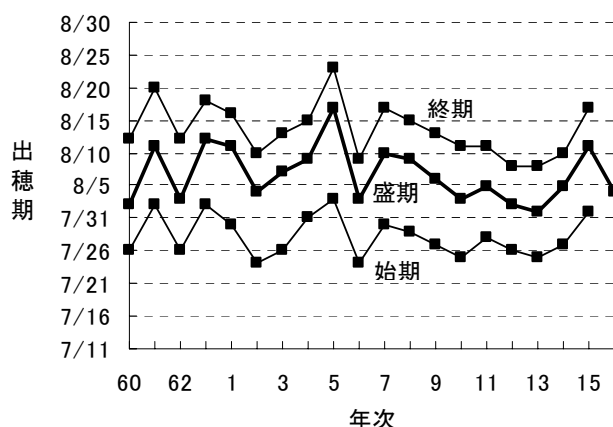


図4 出穂期の推移
(新潟統計・情報センター)

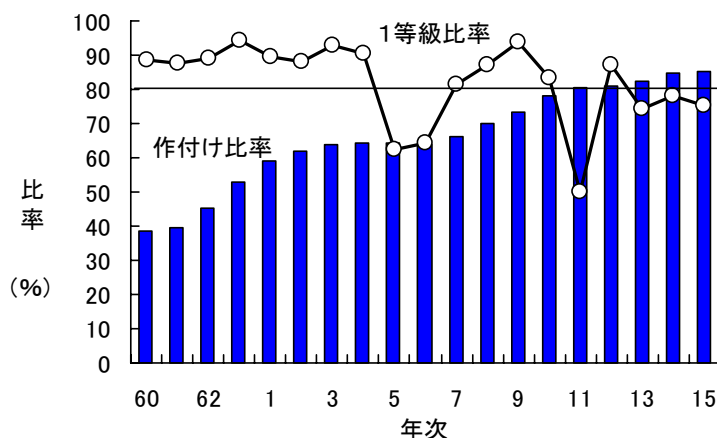


図5 コシヒカリの作付け比率と1等級比率の推移

表2 コシヒカリの格落ち理由と気象要因

年	1 位	2 位	気象要因
平 11	乳心白	発芽粒	高温・連続降雨
平 12	胴割粒	乳心白	フェーン
平 13	乳心白	充実度	高温
平 14	除青未熟	胴割粒	高温・フェーン
平 15	除青未熟	乳心白	低温・少照

- (1) 早生の作付け比率は年々減少し、コシヒカリ（中生）の比率が上昇しているにもかかわらず、播種期の早まりや生育期間の高温傾向等により平成13年頃までは出穂期が早まる傾向にあった。しかし平成12年以降は播種期や田植期が適期に誘導され始め、出穂期も是正されつつある。
- (2) 平成13年以降の品質はやや低位にある。気象以外の要因の影響も大きく、土づくりや理想生育に沿った栽培を今後も推進する必要がある。
- (3) 地域によっては適期田植えが徹底され、安定して高い1等級比率を確保している所があり、地域間差はここ数年拡大傾向にある。今後は地域間差解消に向けた取り組みを強化する必要がある。

表3 成果の上がった地域（中頸城）の事例

項 目	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年
播種盛期	4月10日	4月13日	4月12日	4月18日	4月19日
田植盛期	5月4日	5月7日	5月6日	5月12日	5月12日
1等級比率(コシカ)	46.7%	75.3%	87.4%	87.9%	86.9%

注) 播種・田植盛期は普及センター調査、1等級比率はJA資料による。

高 CO₂ 濃度が水稻の高温不稔を増やす？
－FACE 圃場における穂温の計測とモデリング－

吉本 真由美（農業環境技術研究所 生態系影響ユニット）

1. はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）によれば、今世紀半ばから末までに、大気 CO₂ 濃度は約 550 ppm に達すると見られる。これに伴い、全球の平均気温は 1.4～5.8℃上昇すると予測され、それらが世界の農業生産に多大な影響を及ぼすと言われている。特に水稻の高温不稔は、開花時にその温度感受性が最も強く、気温が限界温度を数℃超えるだけで稔実率が激減することが知られており（Satake and Yoshida, 1978）、地球温暖化による高温不稔の増加が懸念されている。一方、大気 CO₂ 濃度の上昇もまた、気孔の閉鎖を通じて群落温度を上昇させるため、高温不稔をさらに激化させる可能性が示唆されている（Matsui *et al.*, 1997）。

開花時の高温不稔は、高温が葯の劣開を阻害することで引き起こされる（Matsui *et al.*, 1999）。このため、高温・高 CO₂ 濃度条件下での高温不稔のリスクを予測するためには、感受性の器官である穂の温度を高精度で予測する必要がある。しかし、穂は葉とは異なる形状と蒸散特性を持つため（石原ら, 1990）、穂温は一般に気温や葉温と異なる（Nishiyama, 1981）。

開放系高 CO₂（Free-Air CO₂ Enrichment, FACE）実験（図 1）は、室内でなく屋外のフィールドに CO₂ 濃度の高い環境を作り出すことにより、植物や生態系が CO₂ 濃度の上昇でどう変化するかを、自然の状態で観測しようとする手法で、1980 年代にアメリカで開発された実験手法である。FACE 以前の閉鎖系高 CO₂ 実験では、温室自体の特性やチャンバーで覆うことによる光環境・気流の自然との違いや温湿度環境の変化などの問題が避けられなかった。しかし、FACE は覆いがなく、自然状態の生態系全体を対象とするので、高 CO₂ 濃度による群落の微気象環境の変化を解明するために有効な実験手法の一つとされている（McLeod and Long, 1999）。

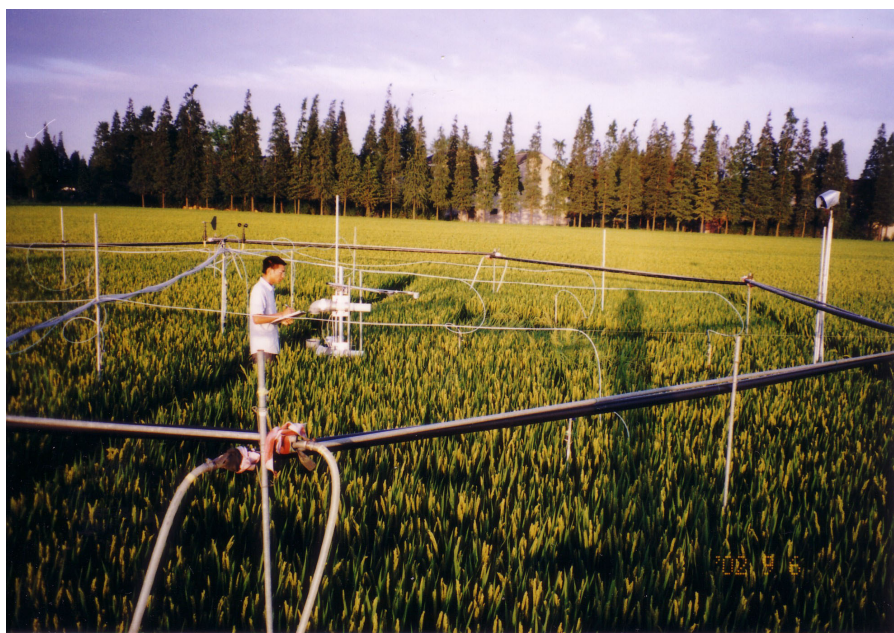


図 1 中国江蘇省無錫の開放系高 CO₂（FACE）実験圃場における FACE（CO₂ 放出）リング

アジアでは、1990年代後半に水田を対象とした FACE 実験装置が開発され（小林, 2001; Okada *et al.*, 2001), 1998 年から日本の岩手県雫石町において、2001 年から中国の江蘇省無錫において水田 FACE 実験が行われている。

私たちは、中国の FACE 実験圃場において微気象観測を行い、高 CO₂ 濃度が水稻の穂の温度に及ぼす影響を把握し、フィールド条件下で穂温を予測する熱収支モデルの開発を試みたので報告する。

2. 方法

2.1 観測

2003 年 8 月 25 日～9 月 4 日に、中国江蘇省無錫の水田 FACE 実験圃場 (31°37'N, 120°38'E, 図 1) の対照区（現在の CO₂ 濃度）と FACE 区（現在の CO₂ 濃度 + 200ppm）において、微気象観測を行った。出穂日は対照区で 8 月 30 日、FACE 区では高 CO₂ 濃度に伴う生長促進のためそれより 5 日早い 8 月 25 日であった。両区の測定項目は、風向・風速、群落上の放射収支、群落内外の温湿度、群落表面温度、地温等である。また、葉温と穂温を、直径 0.1mm の極細の熱電対を直接取り付け測定した。全てのデータは 10 秒毎にサンプルし、10 分平均値をデータロガー（CR10X, Campbell Sci.）に記録した。

個葉の気孔コンダクタンスと穂の蒸散コンダクタンスを、定常型ポロメータ (LI-1600, Li-Cor) で測定した。穂の蒸散コンダクタンスは、ポロメータに不規則形状葉用のキューベットチャンバー (1600-07, Li-Cor) を装着して測定した。

2.2 熱収支モデル

穂の層が葉群の最上部にあると仮定し、穂層の熱収支モデルを考えた。穂層への入射エネルギー R_{in} は、次式で表される。

$$R_{in} = F_p \sec Z (1 - \alpha_p) R_{sd} + F_p d_f (1 - \alpha_p) R_{su} + F_p d_f (L_d + L_u) \quad (1)$$

ここで、 R_{sd} , L_d は上空から穂層に入ってくる下向き短波・長波放射量、 R_{su} , L_u は穂層の下（葉群と水面）から穂層に入ってくる上向き短波・長波放射量である。 α_p , F_p はそれぞれ穂のアルベド、放射に対する穂の傾きを表すファクター、 Z は太陽天頂角、 d_f は長波放射の散光因子である。

穂層への入射エネルギー R_{in} は、穂層－大気間の熱フラックスに等しいので、

$$R_{in} = H_p + IE_p + 2 F_p d_f \sigma T_p^4 \quad (2)$$

ここで、 H_p , IE_p は穂層の顕熱・潜熱フラックスで、次式で表される。

$$H_p = g_h \rho c_p (T_p - T_a) \quad (3)$$

$$IE_p = g_e l [q_s(T_p) - q_a] \quad (4)$$

ただし、 σ , ρ , c_p , l はそれぞれ、ステファン-ボルツマン定数、空気の密度と定圧比熱、水の蒸発潜熱であり、 T_p , T_a は穂温、穂層の気温、 $q_s(T_p)$, q_a は穂温 T_p における飽和絶対湿度、穂層の絶対湿度である。 g_h , g_e は穂層の顕熱・潜熱フラックスの輸送コンダクタンスで、ポロメータで測定した穂の蒸散コンダクタンス、風速の関数である境界層コンダクタンスや空気力学的コンダクタンスを合成して見積もった。

(1)～(4)式に気温や湿度・風速等の実測値を代入し、連立させて解くことにより、穂温 T_p を求めた。

3. 結果

3.1 高 CO₂ 濃度による群落微気象の変化

高 CO₂ 濃度による気孔の開鎖は個葉の蒸散速度を減少させ、潜熱放出に伴う冷却効果を減らすため、葉温は上昇する。出穂期の中国 FACE 圃場では、FACE 区の個葉の気孔コンダクタンスは、対照区より約 30% 小さかった。これに伴い、FACE 区は対照区に比べて、葉温 T_l は 1~2°C、群落内の気温 T_a は 0.5~1°C 程度高く、群落内の相対湿度 RH は 5~8 % 低かった (図 2(b))。熱電対で実測された穂温 T_p は、FACE 区の方が対照区に比べて 0.5~3°C も高く、高 CO₂ 濃度による葉温の上昇よりも大きい場合があった。

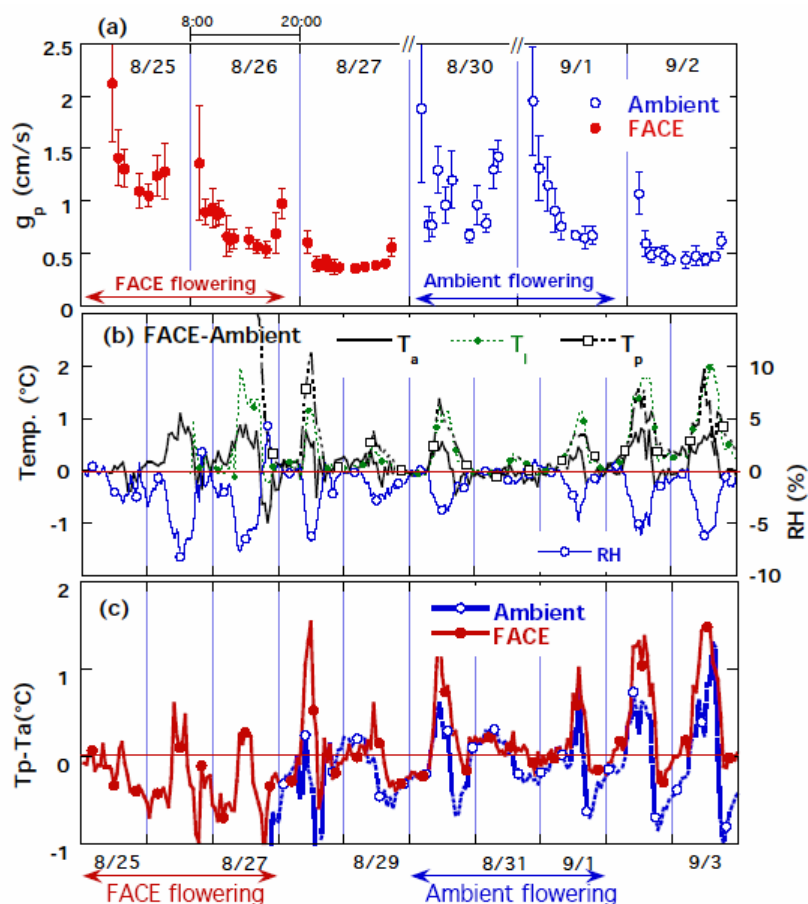


図 2 観測された穂周辺の微気象と穂の蒸散コンダクタンスの日変化。(a)対照 (Ambient) 区と FACE 区の蒸散コンダクタンス (g_p), (b)気温 (T_a), 葉温 (T_l), 穂温 (T_p), 相対湿度 (RH) の両区の差 (FACE - Ambient), (c)両区の穂 - 気温差 ($T_p - T_a$)

3.2 穂の蒸散特性

図 2(a)に、ポロメータで測定した穂の蒸散コンダクタンス g_p の日変化を示す。 g_p は日中小さく早朝と夕方に大きい日変化を示し、一般に日射量に比例して変動する個葉の気孔コンダクタンスとは異なる挙動を示した。日中の g_p は、開花日には約 1 cm s^{-1} と葉の気孔コンダクタンスに匹敵する大きさであったが、開花後、穂が乾燥するにつれて低下し、開花 3 日目頃には約 0.3 cm s^{-1} まで低下した。対照区と FACE 区では、開花日が異なる以外は g_p の日変化傾向に相違は認められなかった。これは、穂の表面には気孔がなく、CO₂ 濃度の違いが穂の蒸散コンダクタンスに直

接影響を及ぼさないためと考えられる。

図 3 は、開花後日数 (Day After Flowering, DAF) 毎に g_p を穂層の相対湿度に対してプロットしたものである。 g_p は相対湿度が低いほど小さく、また開花後 1~2 日目で急激にレベルが低下した。このことから、対照区と FACE 区とで開花日が約 5 日異なることが、両区の穂温の違い (図 2(b)) の主要因である可能性が示唆された。穂温と群落内気温の差に着目すると (図 2(c)), 両区とも日中の穂温は、開花日には穂の蒸散が活発なため気温と殆ど差がないか、むしろ気温より低いが、開花後日数が経つにつれて、穂温が気温より高くなった。同じ日で比べると、穂-気温差は対照区より FACE 区の方が大きく、FACE 区の穂の方が发育ステージが先行し乾燥が進んでいることが、両区の穂温差に大きく影響したものと推察された。

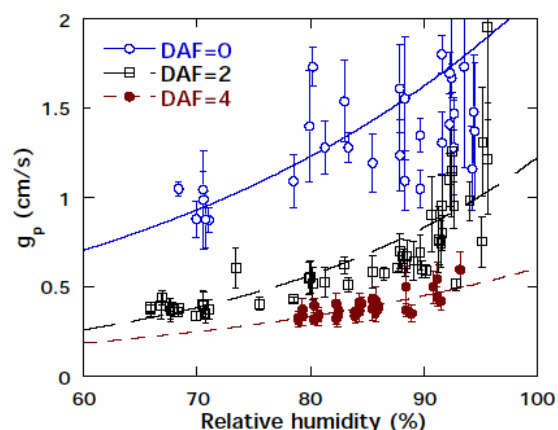


図 3 穂の蒸散コンダクタンスと相対湿度の関係。

3.3 高 CO₂ 濃度が穂温に及ぼす影響

穂の发育ステージの影響を除き、純粋に高 CO₂ 濃度が穂温に及ぼす影響を見積もるため、対照区と FACE 区の出穂日を同じとして、穂の熱収支モデルによるシミュレーションを行った (図 4)。

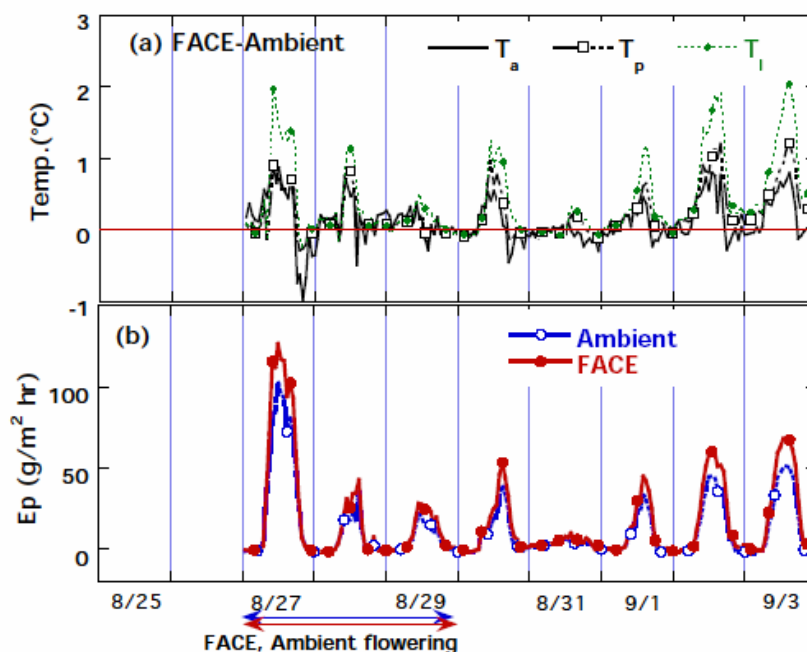


図 4 穂の熱収支モデルで計算された(a)穂温 (T_p) の対照 (Ambient) 区と FACE 区の差 (FACE-Ambient) と、(b)両区の穂の蒸散量 (E_p) の日変化。

この場合の高 CO₂ 濃度による穂温の上昇は、開花日頃に 0.5~1°C で、開花後日数が経つにつれて 1°C 以上と穂温の上昇が顕著になった (図 4(a))。計算された穂温上昇は、実測 (図 2(b), 0.5~3°C)

に比べると小さいが、開花時の高温不稔を増加させる可能性は十分あり得る大きさである。さらに、穂の蒸散量に着目すると（図 4(b)）、同じ日に開花したにも関わらず、FACE 区の穂の方が対照区に比べて、常に蒸散量が大きいことがわかる。これは、FACE 区の方が対照区に比べて、常に穂温が高いこと（図 4(a)）、群落内の湿度が低いこと（図 2(b)）、従って穂－大気間の飽差が大きいことが要因である。以上のことから、高 CO₂ 濃度は、穂温を上昇させると同時に、穂の乾燥を促進させる可能性が示唆された。

4. おわりに

FACE 圃場での微気象観測結果と穂の熱収支モデルシミュレーションより、高 CO₂ 濃度は、群落内微気象の変化を通じて穂温を上昇させ、開花時の高温不稔を増加させるのに十分な影響力を持つことがわかった。また、高 CO₂ 濃度による穂温の上昇と穂の蒸散量の増加は、開花後の登熟過程全体にわたることから、高 CO₂ 濃度は高温不稔だけでなく、未熟粒などのコメの品質低下にも関わる可能性が示唆された。

引用

- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press (for intergovernmental Panel on Climate Change), New York, NY, USA.
- 石原邦・清田悦子・今泉信之, 1990: イネの穂の蒸散, 光合成の特徴－葉身と比較して. 日作紀. **59**, 321-326.
- 小林和彦, 2001: FACE (開放系 CO₂ 増加) 実験. 日本作物学会記事. **70**, 1-16.
- Matsui, T., Namuco, O.S., Ziska, L.H. and Horie, T., 1997: Effects of high temperature and CO₂ concentration on spikelet sterility in indica rice. *Field Crops Res.*, **51**, 213-219.
- Matsui, T., Omasa, K. and Horie, T., 1999: Rapid swelling of pollen grains in response to floret opening unfolds anther locules in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod. Sci.*, **2**, 196-199.
- McLeod, A.R. and Long, S.P., 1999: Free-air carbon dioxide enrichment (FACE) in global change research: A review. *Adv. Ecol. Res.*, **28**, 1-56.
- Nishiyama, I., 1981: Temperature inside the flower of rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.*, **50**, 54-58.
- Okada, M., Lieffering, M., Nakamura, H., Yoshimoto, M., Kim, H.Y. and Kobayashi, K., 2001: Free-air CO₂ enrichment (FACE) using pure CO₂ injection: system description. *New Phytol.*, **150**, 251-260.
- Satake, T. and Yoshida, S., 1978: High temperature-induced sterility in Indica rices at flowering. *Jpn. J. Crop Sci.*, **47**, 6-17.

2004 夏季高温年の茨城県つくば市真瀬における水稲単作田の CO₂ 収支

○間野正美（農環研），宮田明（農環研），永井秀幸（農環研），山田智康（農環研），
小野圭介（農環研），齊藤誠（筑波大）

1. はじめに 気象庁の報道発表資料（http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html）によれば，2004 年の夏季（6～8 月）は，東日本では，1946 年以降，1994 年，1978 年につぐ第 3 位の高温年であった．本研究では，このような高温年であった 2004 年の，茨城県つくば市の水稲単作田における CO₂ 収支について報告する．

2. 方法 観測場所である茨城県つくば市真瀬の水稲単作田（36° 03′ N, 140° 01′ E）では，1999 年 8 月よりフラックス観測が継続されている．水稲の品種はコシヒカリで，2004 年は 5 月 2 日に移植，9 月 9 日に収穫が行われた．CO₂ フラックスは，高さ 3.25 m に設置した超音波風速温度計（Kaijo, DA-600）と開光路型 CO₂・H₂O 分析計（Li-cor, LI-7500）を用いて渦相関法によって測定した．フラックスの平均化時間は 30 分（サンプリング周波数 10Hz）で，鉛直風速がゼロになるように座標軸の変換（the double rotation）を施し，周波数（Massman, 2000; 2001）と乾燥空気密度変動（Webb *et al.*, 1980）の補正を適用した．データの品質管理（Vickers and Mahrt, 1996）を行い，解析に不適切なデータは除外した．

3. 欠測値の補完方法 夜間の CO₂ フラックスを生態系の呼吸量と考え，深さ 5cm の地温との関係を指数関数にあてはめた．日中の CO₂ フラックスから，地温から推定した呼吸量を差し引いて光合成量とし，これと日射量との関係を直角双曲線であらわした．CO₂ フラックスの欠測値は，これら気象要素（地温と日射量）と呼吸量，光合成量の関係式から計算した値で補完した．

4. 結果と考察 近接する気象官署（館野；36° 03.4′ N, 140° 07.5′ E）のデータによると，2004 年の夏季（6～8 月）は，平均気温は平年値（1971～2000 年）よりも 1.2 °C 高く，降水量は平年比 92 %，日照時間は平年比 144 %であり，高温・少雨・多照であった．

CO₂ フラックスの日積算値の季節変化を図に示す．図には，比較のために，平年よりも低温・寡照であった 2003 年の CO₂ フラックスも示した．2004 年の CO₂ フラックスは，移植後から 5 月 20 日頃までゼロ前後で推移し，その後，7 月上旬にかけて吸収量が増加した．吸収量のピーク値は - 10 gC m⁻² d⁻¹ 程度で，7 月上旬から下旬まで，ほぼ 1 ヶ月このレベルを持続した．平年なら梅雨である 6 月上旬から

7 月中・下旬にかけての期間に，少雨・多照であったために，CO₂ の吸収量が低下した日が見られなかった．特に 7 月は 2003 年との差が顕著であり，気象条件の違いが CO₂ フラックスの季節変化に大きく影響することが分かった．

移植～収穫日までの CO₂ フラックスの積算値は - 544gC m⁻² で，2003 年と比べる 118gC m⁻² 吸収量が増加した．

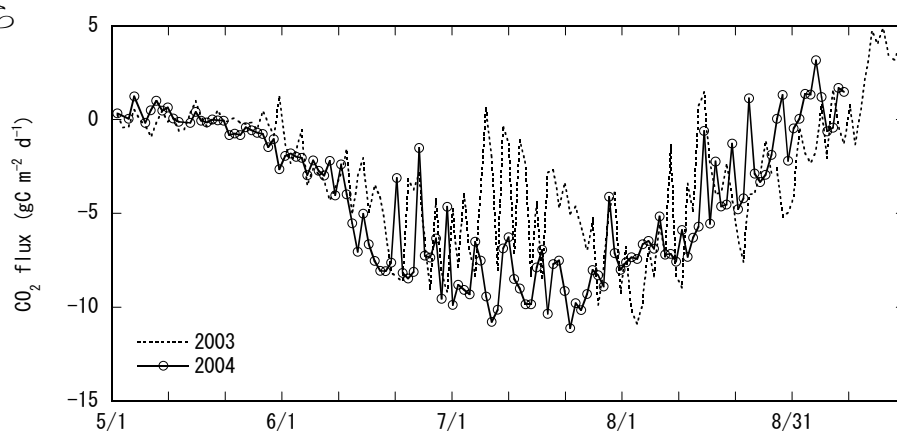


図 2004 年 5 月 2 日（移植日）から 9 月 9 日（収穫日）までの CO₂ フラックスの季節変化．2003 年についても，移植日（5 月 2 日）～収穫日（9 月 19 日）までを示す．

Isotopic Air Sampling in a Rice Paddy to Characterize CO₂ and CH₄ Gas Exchanges

G.H. Han¹, H. Yoshikoshi², H. Nagai¹, T. Yamada¹, K. Ono¹, M. Mano¹, A. Miyata¹, and Y. Harazono³

¹ National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan; ² Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka, Japan; ³ International Arctic Research Center, Fairbanks, Alaska, USA

1. Introduction

Concerns over rising concentrations of atmospheric CO₂ and CH₄ and subsequent effects on global warming have lead to aggressive use of new techniques to resolve the global carbon budget. Among these techniques, stable isotope measurements of atmospheric CO₂ and CH₄ coupled with canopy-scale flux measurements are being utilized to provide a basis for modeling seasonal as well as regional source/sink distributions of the gases.

We have developed an automated sampling system that can be used for collection of 100-ml air samples for isotopic determinations of CO₂ and CH₄. The sampler was designed with the primary goal of collecting air samples with simultaneous determination of concentrations of each gas. Additionally, several other potential applications of the sampler were continuous measurements of fluxes of CO₂ and CH₄ by flux-gradient method, and vertical distributions and storages of CO₂ and CH₄ in the rice canopy.

2. Materials and Methods

The study was conducted in an irrigated rice paddy located in Tsukuba, eastern Japan (36°03'N, 140°01'E, 15 m ASL) from 1 May to 16 September 2003. Air samples were collected with an automated profile sampler (Fig. 1) from 3.8, 1.1, 0.6, 0.3, and 0.1 m above the ground at intervals of 2 min. The collected samples were analyzed for their isotope compositions with a preparation line (Precon) and with an isotope ratio mass spectrometer (MAT 252, Thermoquest, Germany).

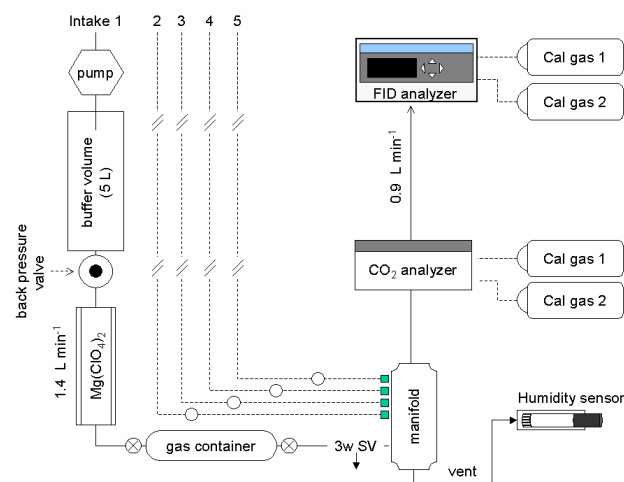


Figure 1. Automated sampler for CO₂ and CH₄.

3. Results and Discussion

There were clear diurnal variations in the profiles of [CO₂] and δ¹³CO₂ in response to daytime photosynthesis and nighttime respiration. The isotopic signatures of ecosystem respiration, which were determined from linear relationships between nighttime δ¹³CO₂ and 1/[CO₂], showed an increasing trend throughout the growing season, and were significantly higher than the measured δ¹³C values of plant leaves. The relationship between [CO₂] and δ¹³CO₂ changed remarkably by floodwater drainage, indicating enhanced emission of heavier (¹³C-enriched) CO₂ from the soil. The concurrently measured [CH₄] and δ¹³CH₄ profiles showed strong vertical stratifications reflecting CH₄ emissions near the ground. Our results reveal that methane production (from CO₂) in the ecosystem largely influences the isotope signature of ecosystem CO₂ exchange. This can contribute to better constraining regional carbon budget (especially for rice paddies and wetlands), which rely on carbon isotope data.

慣行栽培された稲単作水田上での乱流フラックスと微気象の
季節変化と年変動について

○永井秀幸¹, 山田智康¹, 齊藤 誠², 吉越 恆³, 小野圭介¹, 韓 光鉉¹, 宮田 明¹, M. A. Baten⁴,
原 菌芳信⁵

¹農業環境技術研究所, ²筑波大学, ³九州大学, ⁴バングラディッシュ農業大学,

⁵国際北極圏研究センター

1. はじめに Asia Flux Site の一地点である真瀬サイトは、東アジア特有の土地利用形態である水田からの種々の鉛直輸送量をモニタリングするため設置された。本稿では 2001 年から 2003 年の観測結果に基づき、乱流フラックスと微気象の熱収支成分の特徴について報告する。

2. 観測方法 乱流フラックス測定については、高度 3m に超音波風速計 DA-600(Kaijo)とオープンパス型赤外線ガス分析計(2001 年 11 月まで E009B (Advanet) ,その後 LI-7500(Li-Cor))を設置し、データを 10Hz でサンプリングし、30 分を一区切りとしてフラックスを計算した。放射 4 成分は CNR1(Kipp&Zonen)、地中熱流量は MF81(EKO)、水体貯熱変化量は水温と水位から計算した。フラックス測定システムは灌漑が始まる直前に水田中央から水田の畦畔端に移し、稲の生育期間中はこの地点で測定した。稲刈り終了後、水田の耕起が行なわれた後で再び水田中央に戻した。

3. 乱流フラックスの品質管理と欠損処理 得られたデータは、ガス分析計の校正などによる欠測値の他に気象条件が乱流フラックスの測定に適合しない異常値を含んでいる。そこで Foken and Wichura(1996)に従って品質管理を実施した。欠損補完には Lookup-Table 法(Falge et.al.2001)を用い、クラス分類変数として光合成有効放射量と飽差を採用した。この欠損処理をしたデータを用いてフラックスの日値を求めた。

4. 結果 Fig.1 は日単位の各フラックス成分(R_n ; 正味放射、 LE ; 潜熱、 H ; 顕熱、 G ; 地中熱フラックス、単位 MJm^{-2})の 1 週間移動平均値の推移である。水田では灌漑水の有無にかかわらず正味放射のほとんどを潜熱に変換する。ただし 2002 年 2 月から 4 月にかけて Bowen 比が 0.5 をうわまわる時期があった。この時期は、降水が少ない ; 飽差が比較的大きい ; 土壌が比較的乾燥状態 (0-30cm の平均体積含水率 50%から 60%に対してこの時期は 50-40%) であった。他年度の同時期についても顕熱や地中熱は最大となった。また、灌漑水の導入時期により顕熱や地中熱の大きさが変化した。このように熱収支成分は、放射量は別にして、水田管理により値が変化することが伺えた。

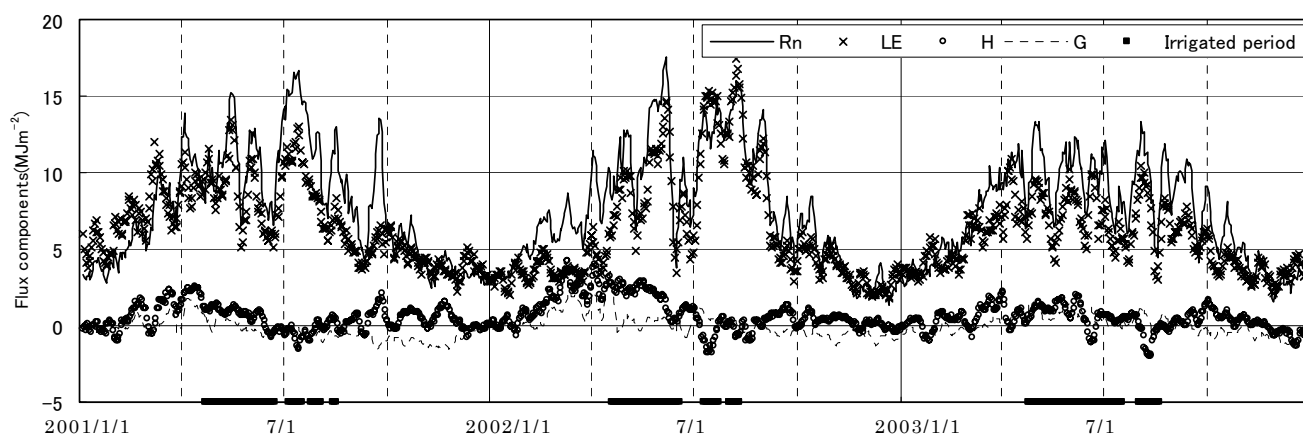


Fig.1 2001 年から 2003 年にかけて測定された熱収支成分

気象条件と生育量に基づく水稻玄米品質予想

第一報 気温と籾数によるコシヒカリ乳心白粒発生予想

○金高正典¹⁾・高橋敦子²⁾・東聡志¹⁾

(¹⁾新潟農総研・作物研 (²⁾元新潟農総研・作物研)

新潟県の基幹水稻品種「コシヒカリ」は、近年の変動気象傾向により品質の変動が大きくなっている。これまでに収穫前後の気温、籾数の多少が乳心白粒発生に影響を与えていることは別々の知見として報告されているが、同時に用いた検討は行われていない。そこで両者を同時に用いた統計モデルによる、コシヒカリの乳心白粒発生予想について検討した。

【材料及び方法】

- (1) 試験場所・規模 新潟県長岡市 作物研究センター 5a×3圃場
- (2) 育苗様式 稚苗、加温出芽、播種量 乾籾 140g/箱
- (3) 移植期 2002年4月25日、5月13日、2003年5月12日、5月20日、5月30日
- (4) 試験区の構成 基肥 (Nkg/10a) 2002年 3、5 2003年 1.5、3
 穂肥 (Nkg/10a) 2002年 (収穫18日前) 0、1 (収穫10日前) 0、1
 2003年 (収穫18日前) 0、1、2 (収穫10日前) 0、1、2
- (5) 調査項目 日平均気温 (新潟県長岡市農総研内気象観測装置)
 収量、収量構成要素、整粒歩合 (静岡製機 RS2000X)、未熟粒 (500粒 達観)

【結果の概要】

(1) コシヒカリ乳心白粒発生率は収穫後10日間平均気温と m^2 当り籾数より推定でき、H14～15の2ヵ年のデータに基づくパラメータでのモデル式は次のとおりである。式は乳心白粒発生率データが二項分布に従うことを仮定してロジスティック回帰により作成した

$$p(x) = \frac{1}{1 + e^{-f(x)}} \quad f(x) = 67.7 - 6.0504x_1 + 0.1224x_1^2 + 0.01209x_2$$

x_1 : 収穫後0～9日間の平均気温 (°C) x_2 : 籾数 (百粒/ m^2)

(2) モデル式から籾数と気温による高品質米生産条件の推定を行った(図1)。収穫後10日間平均気温は25°Cが最適と推定された。籾数増加に従い、乳心白粒発生を低く抑える気温の範囲は狭くなった。

(3) 長岡市農総研の過去30年の気象データより、収穫期別の高品質米(乳心白粒発生率<5%)生産確率を推定した(図2)。7月後半の収穫で m^2 籾数が3万粒を上回った場合、高品質米生産確率は大きく低下した。いずれの収穫期でも籾数28000粒/ m^2 で高品質米生産確率は80%以上と推定された。

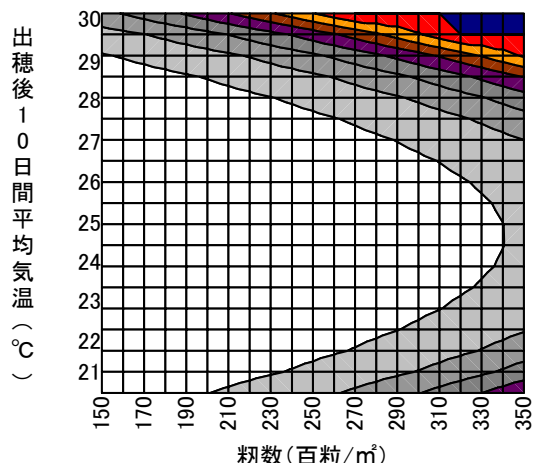


図1 モデル式による籾数と収穫後10日間日平均気温と乳心白粒

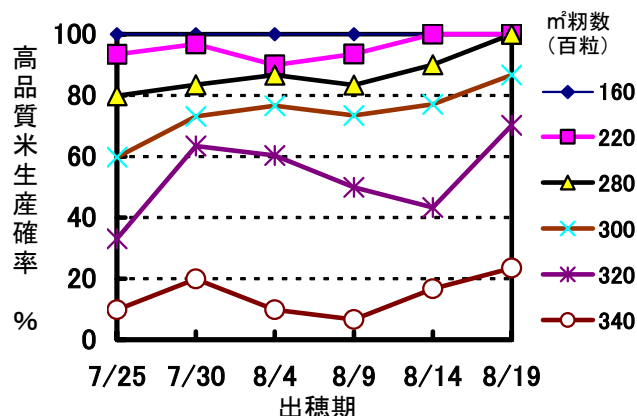


図2 気象データによる収穫期別高品質米生産確率予測

水稻の生育診断のための簡易調査法について

○脇山恭行・井上君夫・中園江・大原源二（中央農業総合研究センター）

1. はじめに

水稻の生育診断には、リモートセンシングの利用も試みられているが、従来の草丈、茎数および SPAD 値に基づいた調査法も広く用いられている。この調査法を簡素化するために、茎数に代えて稲株の株周の長さを利用した調査法が検討されている。今回はこの方法の適応性をみるために日本および韓国で栽培されている品種を対象に、水稻の各形質との関係を調べたので、その結果を報告する。

2. 方法

栽培実験は、2004 年に中央農業総合研究センター谷和原水田圃場（茨城県谷和原村）において行った。供試品種には、日本品種の日本晴、コシヒカリ、キヌヒカリ、韓国品種の一品、東安、大安を用いた。なお、韓国品種はすべてジャポニカである。移植は、5 月 20 日に機械移植により行った。生育調査は、6 月 24 日、7 月 21 日および 7 月 27 日（幼穂形成期）、8 月 9 日および 8 月 17 日（出穂期）に行った。調査項目は、草丈、茎数、株周、SPAD 値および地上部乾物重であった。株周は、地際から 5cm の株周りを自作のメジャーで測定した。収穫後、収量構成要素、坪刈りによる籾重および玄米重の収量調査を行った。

3. 結果および考察

各生育ステージごとに得られた生育調査データは、株周の長さから求めた株の断面積と草丈をかけた円柱の体積（ $\pi r^2 h$ ）に変換した。これを株体積とし以下の解析に用いた。各生育ステージの草丈×茎数と地上部乾物重ならびに株体積と地上部乾物重の関係をみると、移植後 1 ヶ月では、草丈×茎数と地上部乾物重の関係は $r = 0.95$ 、株体積と地上部乾物重の関係は $r = 0.95$ と両者の相関は同程度であった。幼穂形成期では、草丈×茎数の方が株体積に比べて地上部乾物重との相関が高かった。出穂期では、株体積が草丈×茎数に比べて若干地上部乾物重との相関の高いことが確認できた（図 1, 図 2）。水田での茎数の計測は、作業時間が長くまた作業強度が高い。今回の地上部乾物重との関係に関する検討では、生育ステージにもよるが株体積の利用は茎数を用いた場合と同程度の精度を示した。株周の測定は、茎数の計測に比べて、計測時間が短く、作業強度も低いことから有効な測定項目であると考えられた。

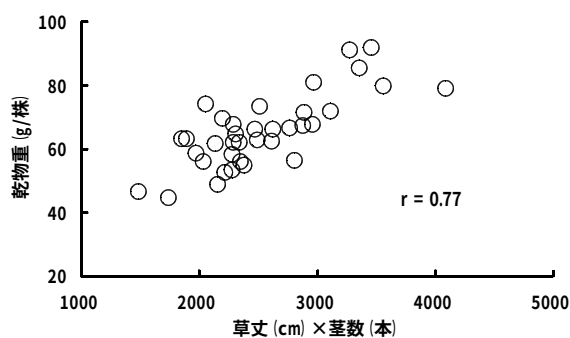


図1 出穂期における草丈×茎数の値と乾物重の関係(全品種)

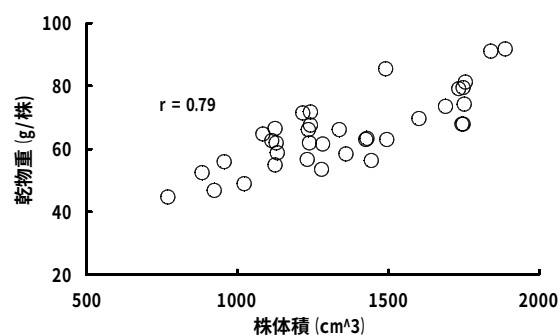


図2 出穂期における株体積と乾物重の関係(全品種)

気温推移と水稻葉色の関係について

高橋行継 (群馬県西部農業総合事務所)

1. はじめに

水稻の葉色は、農業試験研究機関や指導機関において生育や栄養状態を観察する上でも重要な指標である。また、生産現場でも水稻の葉色は比較的良好に観察されており、追肥時期や追肥量の判断材料とされている。しかしながら、同じ施肥量、耕種概要であってもその年の気温などによって葉色は大きく変動するため、葉色だけの単純な判断では適切な栽培管理ができない場合も多い。そこで、生育診断による適切な肥培管理を推進することを目的に、今回は気温と葉色の関係について検討したので報告する。

2. 調査方法

水稻の葉色(SPAD値：ただし1997年前半は葉色板値からの換算値)は、群馬県農業試験場東部支場(群馬県館林市)で1997～2000年に実施した施肥試験圃場のデータを対象とし、この中から移植後から成熟期までの調査データが揃っている年次(2000年のみ2作期)を使用した。供試品種はゴロピカリで、施肥量は窒素成分で基肥0.7kg/a、追肥0.2kg/aとした。気温は、場内観測による対応年次の5～10月の半月別平均気温を使用し、積算気温についても求めた。

3. 結果及び考察

水稻の葉色は、過去の場内試験結果から移植、活着後の生育初期の葉色値が最も高く、その後徐々に低下してゆく。そして、出穂期前に追肥の有無にかかわらずやや上昇し、その後成熟期まで低下してゆく曲線を示すことが明らかになっている。葉色値や変化の幅は年次によって異なるが、パターンはほぼ共通している。3か年4作期の水稻栽培期間の気温及び葉色推移の概要は以下の通りである(図1, 2)。

①1997年早植：

気温は移植後30～50日前後(6月下旬～7月中旬)の高温が著しく、その後は概ね平年に近い推移を示した。葉色は、この高温期間に対応するように前半の低下が著しかった。また、追肥時期に相当する移植後75日前後(8月上旬)の葉色上昇は著しく、他の年次よりも変動幅が大きい特徴を示した。

②1999年早植：

気温の推移からは全般高温年として捉えることができるが、特に9月以降の高温傾向が顕著であった。今回の調査対象年次中では最も葉色の低下が緩慢であったが、成熟期以降の高温の影響を受けて生育期後半の葉色低下が同前半よりも大きい点が特徴的であった。

③2000年早植及び普通期：

気温の推移は全般高温年である。2000年は2作期について検討を行った。両者を比較すると、栽培期間初期から早植よりも気温が高かった普通期の葉色低下がやや早い傾向が認められた。ただし、両作期の葉色の变化曲線は類似しており、また葉色の低下幅は3か年で最大であった。

このように同一品種、同一施肥条件でも水稻の葉色の推移は年次による差が大きい。今回は気温との比較のみしか実施していないが、高温によって葉色の低下が進む傾向がみられ、気温と葉色の低下には一定の関係が認められた。

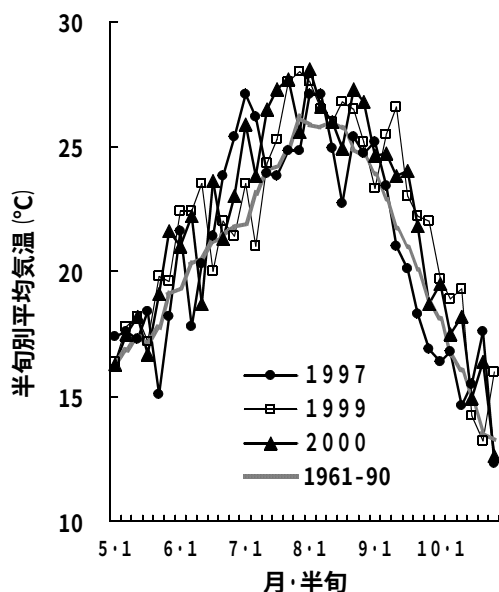


図1 稲作期間の気温推移

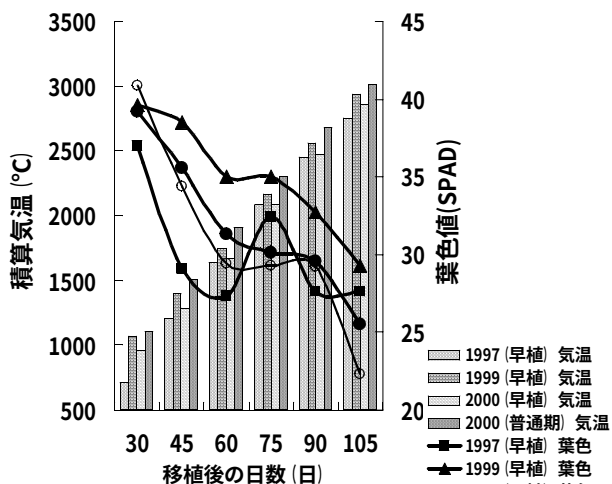


図2 積算気温と葉色の推移

施設栽培長段トマトの時間吸水量の気象要素による推定

○細野達夫*・細井徳夫（野菜茶業研究所）

*現所属：中央農業総合研究センター

1. はじめに

筆者らは、気象要素（日射、気温、飽差）を説明変数とする重回帰式によるトマトの吸水量推定、および施設栽培におけるかん水制御への応用について検討していた。本報では、一時間毎の吸水量（時間吸水量）の推定について報告する。

2. 研究方法

吸水量推定式の作成に用いた基礎データは、ガラス温室（南北棟、200m²、日射透過率：約60%）で養液栽培（養液循環式）された長段トマト（2作期分）で得られたものである（細野・細井，2002）。トマトの吸水量は給水量測定方式により実測した。ここでは、トマトがある程度繁茂した後（LAI が1.5以上）について、昼間（6:00-18:00）の1時間毎の吸水量を目的変数、当該時間の積算日射量（温室透過量）、平均気温および平均飽差を説明変数とした。停電等による異常データを除いた後、データ数は5300である。

3. 結果

時間吸水量と日射あるいは飽差とはそれぞれ高い相関が見られた（図1、図2）。重回帰式による推定標準誤差は変数が増えるにしたがって小さくなった（表1）。これらの式により計算される推定値は、養液土耕栽培等で少量多頻度灌水を行う際の灌水量の目安として使用できる。

表1 時間吸水量（ℓ/10a/時）推定のための重回帰式

変数	回帰式	寄与率 R ²	標準誤差
S	$W=19.8+228S$	0.75	82.2
D	$W=4.66+274D$	0.83	67.8
S, T	$W=-213+160S+12.6T$	0.87	59.2
S, D	$W=-13.4+105S+181D$	0.89	53.4
S, T, D	$W=-137+102S+7.17T+129D$	0.92	46.1

S：温室透過時間積算日射量(MJ/m²/h)、TおよびD：温室内の1時間平均気温（℃）および飽差（kPa）。

引用文献

細野・細井（2002）：農業気象，58，207-216.

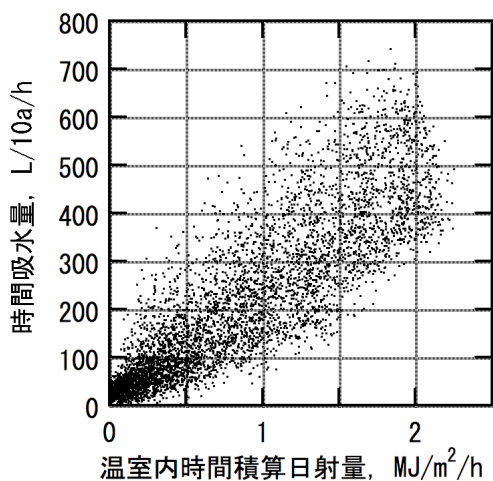


図1 時間積算日射量と吸水量の関係

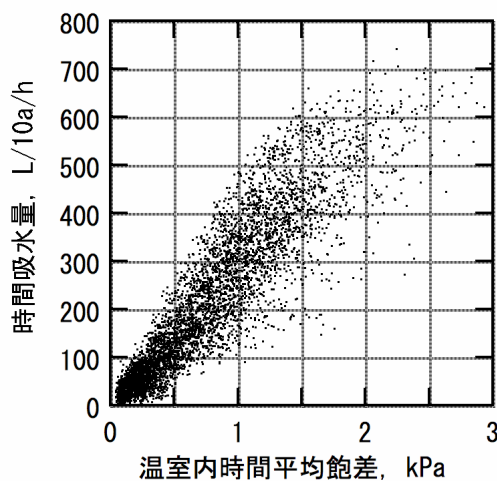


図2 時間平均飽差と吸水量の関係

コムギ種子水分の推定

○中園 江・井上君夫・脇山恭行・大原源二（中央農業総合研究センター）

1. はじめに

日本のコムギ栽培では収穫期が梅雨時期と重なるため、降雨によって引き起こされる品質の低下が大きな問題となっている。これを回避するためには、収穫適期の判定技術の確立とそれに基づいた計画的な収穫スケジュールの策定が有効とされている。収穫適期の判定指標として子実含水率が用いられているが、含水率の推移は年次により異なり、単純に日数等で推定することは難しい。本研究では気象条件からコムギ種子の含水率を簡便に推定する方法について検討した。

2. 材料及び方法

2003 年、2004 年に中央農研観音台圃場において農林 61 号およびシロガネコムギを栽培した。開花期より登熟期前半は数日置きに、後半は毎日午前 10 時頃穂を採取し、中央部の子実を対象に含水率の測定を行った。また圃場で日射、気温、湿度、降水量等の気象要素及び熱電対による穂の表面温度の測定を行った。2004 年には乾燥穂を吸水させて様々な含水率に調整し、圃場に立てて含水率の変化を調査した。またチャンバー内の一定水温下で穂を浸水させた状態および自然降雨下での子実の吸水過程を調査した。

3. 結果および考察

開花期以降子実含水率は徐々に低下したが、40%付近から減少速度が大きくなった。含水率約40%の時期は生理的成熟期（以下 PM）と呼ばれ、この時期に子実と親植物との連絡が物理的に絶たれることが知られている。PM 以前の含水率は、品種・栽培条件にかかわらず子実の登熟の進行に伴い減少することが明らかになったため、子実乾物重増加と気温の関係をを用いて精度よく推定することができた。

一方、PM 以降の子実水分は気象条件により変動した。子実含水率＝前日の含水率－蒸発量＋吸水量と考え、蒸発過程と吸水過程について検討した。乾燥穂を用いた実験結果より含水率の低下量と大気飽差に相関が得られたが、同一の気象条件下では初期含水率の高い子実ほど低下量が大きくなる関係があったため、初期含水率と飽差を説明変数とする重回帰を行い、次の式を得た。

$$y = 0.121x_1 + 0.0369x_2 - 2.771$$

（ y：蒸発による減少量（%） x₁：初期含水率（%） x₂：大気飽差（hPa） R² = 0.713 ）

吸水量は降水量よりも降水時間との相関が高く、浸水させた穂の吸水速度と自然降雨による吸水速度の間に大差はみられなかったことから、吸水量は主に穂に水が付着した時間により決定されると考えられた。以上の関係を用いて、2003 年の 2 作期を対象に、初期含水率（10 時の含水率）、大気飽差の日積算値および一日の降水時間（10 時を起点とする）より含水率の推移を推定した。これより、気象条件から PM 後の含水率の推移を日単位でおおよそ推定できることが示されたが、降雨日の含水率の増加が少なく見積もられる傾向があり、降雨後蒸発開始までのタイムラグ等の吸水時間の見直しが必要であると考えられた。また水分推定方法の転換点である PM の推定誤差も含水率の予測に影響することが考えられ、これらについては更に検討を行いたい。

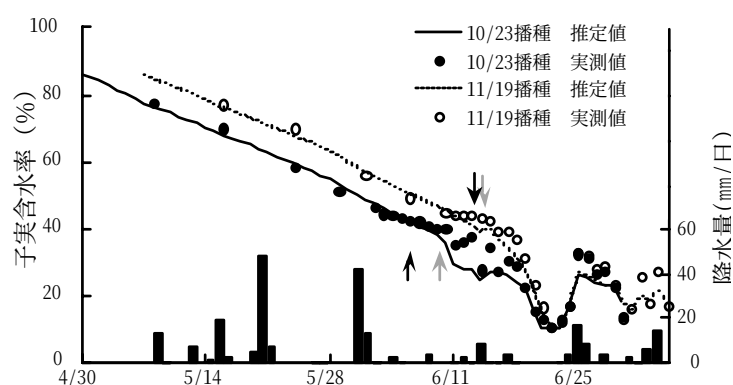


図 1. コムギ子実含水率の推定値と実測値
2003 年、農林 61 号
矢印は各作期の生理的成熟期を示す

↑ 実測値 ↑ 推定値

サイレージ用チモシーの乾燥過程について

○星河聡、松岡延浩(千葉大園芸)、出口健三郎(北海道立畜産試験場)、
白旗雅樹(十勝中部農業改良普及センター)、今久(千葉大園芸)

目的 現行のサイレージ調製作業では、早朝にモアーコンディショナーで刈り取りを行い、テッダーなどによる転草作業を行わずにそのままの形で乾燥させ、その日のうちにサイロに収納する方法がとられている。従来、乾草調整を目的とした乾燥速度と気象要因の関係については多くの研究が行われているが、サイレージ調整を目的とした研究は少ない。本研究では、気象要因から乾燥係数 α を推定し、牧草の乾燥過程における蒸発量を予測した。

方法 対象牧草をチモシーとし、北海道立畜産試験場内圃場にて、1 番草(2004年6月21日, 23日, 24日)、2 番草(2004年9月6日, 7日, 9日)の刈り取り時にサンプリングおよび気象観測を行った。モアーコンディショナーにより列にされたチモシー(幅120~150cm・高さ20~30cm、以後集草と呼ぶ)を予め決めておいた5部位から1時間間隔に300~1000gサンプリングした。乾燥(60℃、48時間)前後の重量から含水比を求め、予備実験で作った集草全体の含水比を推定する式を用いて、全体の含水比を算出した。解析に用いた気象データは、気温、相対湿度、風速(地上2m)、集草表面温度・相対湿度で、圃場内で測定し、1分間隔で記録した。

結果及び考察 減率乾燥期間での乾燥特性は次式で近似される。

$$M = (M_o - M_e) \exp(-\alpha \cdot t) + M_e \quad (1)$$

ここで、 M : 含水比、 M_o : 初期含水比、 M_e : 平衡含水比、 α : 乾燥係数 (1/hr)、 t : 乾燥開始からの時間 (hr) である。平衡含水比 M_e は初期含水比 M_o に比べ極めて小さいとし、

$$\frac{dM}{dt} = C \cdot U \cdot \Delta q \quad (2)$$

と仮定すると、

$$\alpha = -C \cdot \frac{U \cdot \Delta q}{M} \quad (3)$$

と表せる。ここで C : 乾物重当りのバルク輸送係数(1/m)、 U : 風速 (m/s)、 Δq : 表面比湿と大気比湿の差である。

測定データから、 α と $\frac{U \cdot \Delta q}{M}$ の関係を近似すると、

$$\alpha = 15.5 \frac{U \Delta q}{M} + 0.0223 \quad (4)$$

となった。この関係にそれぞれの時刻における気象要素

を代入して、観測期間中の集草の蒸発量(g/g 乾物)を推定した(図)。測定蒸発量と比較した時の平均推定誤差は22.2%、回帰係数は0.83、相関係数は0.76であった。図中で大きく破線から外れているのは6月23日のデータである。この日は前日が降水量25mm、日照時間0.2hrであり、刈り取り時に茎葉が濡れていた。そのため、乾燥が減率乾燥期間ではなく恒率乾燥期間に進んだために推定値よりも多く蒸発が起きたと考えられる。この日を除いたデータでは、回帰係数0.97、相関係数0.96であった。したがって、降水を考慮した場合の推定法が今後の課題であるが、前日に降水などのない条件では、この方法により牧草の乾燥過程を精度良く再現できることがわかった。

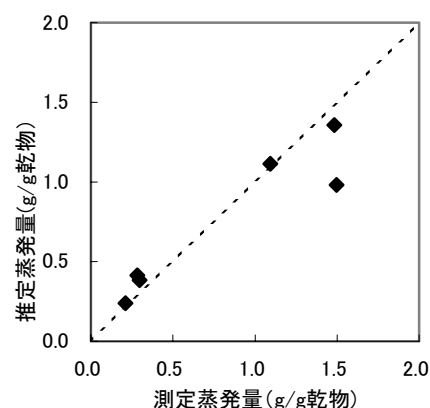


図 観測期間中の集草の推定蒸発量と測定蒸発量の関係

図中の破線は1:1を表す

乾燥模擬葉と実葉温差を用いたトウモロコシ個体からの蒸散量の算定

○今 久, 松岡延浩, 劉 利民 (千葉大園芸)

はじめに

個葉表面温度は蒸散量と直接関係しており, 乾燥葉温との違いから蒸散量を求めることができる。ここでは, トウモロコシ個体の蒸散量を模擬乾燥葉温と実葉温の違いから求めた。

方法

実葉温, 乾燥模擬葉温, 気温をそれぞれ T_f , T_m , T_a , 実葉, 模擬葉の吸収放射をそれぞれ R_f , R_m とすれば, 蒸散量 LE は次式から求められる。

$$LE = R_f / 2 - \sigma T_f^4 - (T_f - T_a)(R_m - 2\sigma T_m^4) / [2(T_m - T_a)]$$

実葉温と模擬葉温は0.1mm熱電対を葉面に接着して測定した。長短波放射計, 通風乾湿計を近くに設置し測定した。実験は次の3種である。

- ① 同じ形の模擬葉を2つ作り, 1つは乾燥, 他方は両面に水を浸した状態にし, 野外に水平に置いて, 両模擬葉温の差から, 濡れた模擬葉からの蒸発量を求める。重量変化は, 電子台秤で測定した。
- ② ポット植えトウモロコシの葉温と乾燥模擬葉温の差から蒸散量を求める。葉温測定点と似た点でポロメータ (LI-1600) で蒸散量を測定する。
- ③ ポット植えトウモロコシ個体からの蒸散量は, ポットの土壌面からの蒸発を抑えるために, ビニールで被覆し, ロードセルで重量変化を測定した。葉温は, 上部にある日当たりの良い葉の水平部分で測定した。

結果

- ① 図1に示したように, 実測値と計算値はよく一致する。
- ② 屋外における測定のため, 風による変動が大きい, 図2に示したように, ポロメータによる値と同程度で, 乾燥模擬葉温を使った測定法は蒸散の変動をよく表しているといえる。
- ③ 葉温は水平で, 日当たりがよいところで測定しているので, この値を使って求めた個体蒸散量は, 実測値より多めに見積もる (図3)。

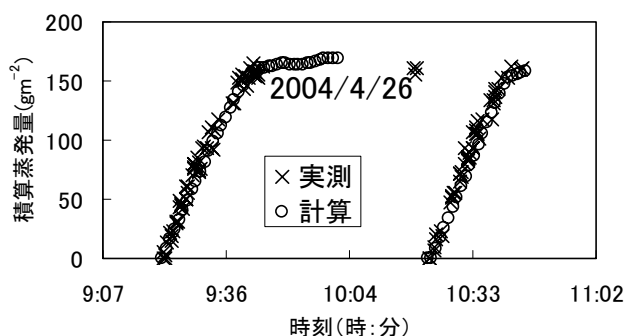


図1 同じ形態の乾燥模擬葉と湿潤模擬葉を用いた蒸発量の実測と計算の比較。

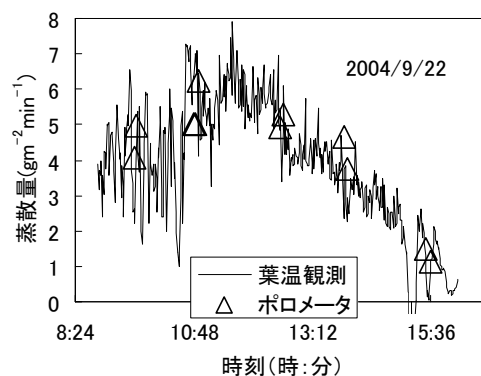


図2 実・模擬葉温観測とポロメータによる個葉蒸散量の比較。

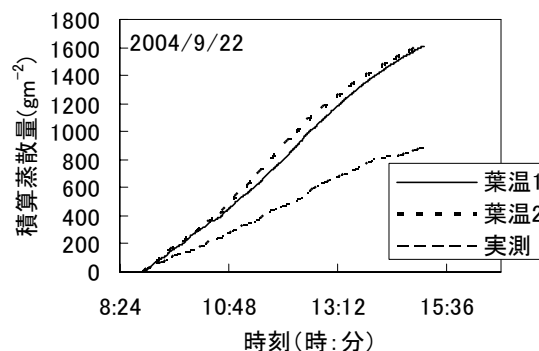


図3 トウモロコシ個体の実測蒸散量と実・模擬葉温から算定した蒸散量の比較

屋上緑化の薄層基盤における高温障害に関する研究

○遠藤悠希、荒井京子、堀江勝年、青木正敏（東京農工大学農学部）

【はじめに】 都市の熱環境改善策のひとつに屋上緑化がある。屋上緑化は、通常コンクリートなどの上に緑化基盤を設けそこに植栽されることが多い。薄層緑化基盤では植栽植物のエッジ部で生育障害が報告されている。そこで、本研究は薄層基盤におけるエッジ部から中心部への地温分布、土壤水分およびそれに伴う植物の生育との関連性を明らかにすることを目的として実験を行った。

【方法】 実験は東京都府中市の本学農学部 6 号館屋上で 2004 年 7 月から 10 月まで行った。屋上表面は防水シートで覆われていた。薄層基盤の大きさは 3m×3m、土壌厚は 5cm、土壌は黒土とパーライトを 7:3 とした。実験植物はコウライシバ(*Zoyia matrella* Merr)、メキシコマンネングサ(*Sedum mexicanum*)、ベゴニア(*Begonia semperflorens*)を用いた。地温測定は、コウライシバ区だけで行い、熱電対温度計で土壌中 5cm を緑化基盤のエッジ部分から 0cm、10cm、20cm、40cm、75cm、150cm(中心部)において測定した。同時に気温、日射、屋上表面温度も測定し、それぞれ 10 分平均値を解析に用いた。土壌水分量は適宜 TDR を用いて測定した。3 種の植物体の分析は、目視による葉の可視障害度、電解質漏出率、クロロフィル含量、抗酸化活性 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)のラジカル消去能)および水分含量の測定を行った。

【結果と考察】 地温は、観測期間を通じて夜間において大差はなかったが、日中は 0cm 地点で常に最も高かった。8 月の 6 時から 18 時の平均では、薄層基盤のエッジ部と中心部では平均して約 5℃の差があった(図 1)。エッジ部からの地温分布は指数関数的に減少し、75cm 以降は中心部とほとんど違いがなかった(図 1)。この地温分布の原因は屋上表面が加熱され薄層基盤に熱伝導し、エッジ部の地温が上昇したためと考えられた。一方、土壌水分量は各地点で大きな差はなかった。

コウライシバでは、中心部の 150cm 地点や 75cm 地点では可視障害や他の測定項目での生理障害は認められなかった。しかし、エッジ部では可視障害は増大し、葉の黄化や白化が顕著に認められた(図 2)。さらに、エッジ部の個体では細胞の傷害度を表す電解質漏出率が上昇し、抗酸化活性や水分含量が低下することがわかった。クロロフィル含量については、エッジ部と中心部で明白な差異は認められなかったが、クロロフィル a/b 比がエッジ部で低下することがわかった。日中の平均地温と可視障害度との間には高い相関関係が認められた。

メキシコマンネングサとベゴニアでは、いずれの地点でも可視障害、生理障害は見られなかった。

【まとめ】 土壌厚 5cm の薄層基盤を用いた場合、コウライシバにおいて、エッジ部での土壌水分量は中心部と大差がなかったが、平均地温と可視障害は高い相関関係が認められた。これらのことから、エッジ部での可視障害や生理障害は、主に地温の上昇によってもたらされたことが明らかになった。

一方、メキシコマンネングサやベゴニアは、薄層基盤のエッジ部でも障害が起らなかったことから、高温耐性が高いことが明らかになった。

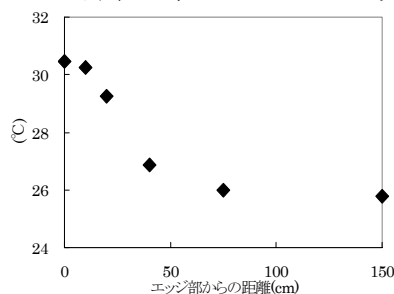


図 1 2004 年 8 月 6:00-18:00 地点別平均地温分布 (°C)

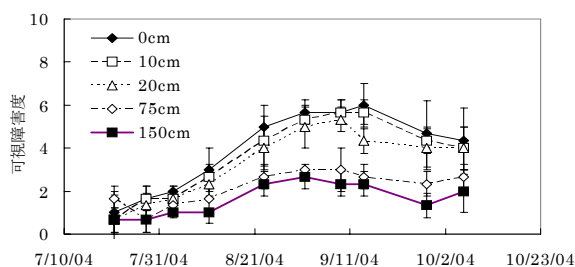


図 2 コウライシバの地点別可視障害度の変動
可視障害度: 0 = 健全葉 ~ 9 = 枯死葉

気候緩和機能増進技術に関するモデル開発と指標化について

気候緩和研究グループ（代表）井上君夫、脇山恭行、中園 江、大原源二（中央農研）、
木村富士男、黒川知恵、井上忠雄（筑波大学）、菅野洋光、佐々木華織（東北農研）、
後藤伸寿、吉川 実、川名輝子（みずほ総研）

はじめに：先端技術を活用した農林水産高度化事業「気候緩和機能増進技術の評価モデルの開発と関東地域への適用」の調査研究がスタートした。現存する水田や畑地は勿論、緑地空間や親水空間の維持・整備は都市近郊農業の気候緩和機能を向上させる。本研究のねらいは増進技術の投入や土地利用の改変が気候緩和機能に与える影響をモデルから予測し、それを指標化することである。

1. 調査方法およびコアモデルの開発

現在、進行中のコアモデルとは、気候モデルに利用可能な TERC - RAMS（木村）と群落微気象多層モデル（井上）との結合モデルである。前者については、簡易都市モデルの導入や演算の高速化を、後者については LCM と結合した CAPSM の改良を進めている。指標化に関しては、井上ら（2004）の結果から指標となる土地利用別ボーエン比の測定、及び市街地等の温・湿度環境を把握する移動観測を実施する。

2. 結果と考察

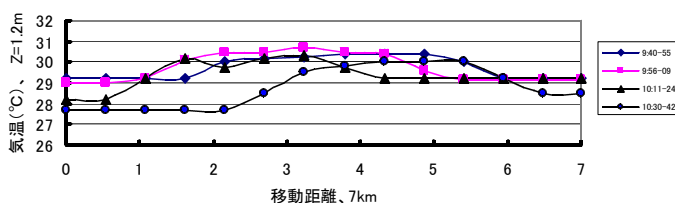
春日部市内外の温・湿度分布の移動観測から、市内の高温状態は昼間より夜間にはっきりと現われ、最大 2℃ の温度差が日出前にはほぼ解消される（上図、2004.8.17-18）。

岩槻公園を横断する移動観測から、公園内の気温は常に外より 0.5～1℃ 低く、相対湿度は逆に高くなるが、絶対湿度で見ると、内部が外部を上回るのは正午から午後の時間帯であった（中図、2004.8.19）。

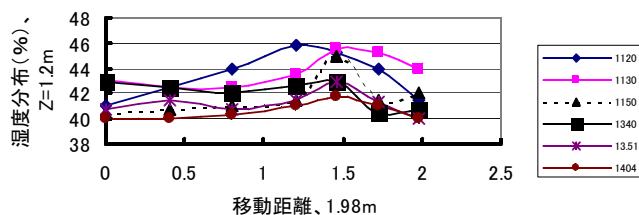
軽量・安価なボーエン比測定装置を開発し、市街地や団地、水田等でボーエン比を測定した。中心市街地の日平均値は 1.2、団地で 0.4、水田で -0.18 であった。既往の結果と比べて、蒸発散の旺盛な猛暑を象徴する結果となった（下図、2004.7.23）。

観測期間中の 7 月 21 日について、CAPSM で春日部を含む約 25km 四方を計算領域とするモデル実験では、大宮市街地の地表面温度は 40℃ 付近まで上昇するが、水田や河川が広がる春日部、越谷の温度は大幅に低かった。さいたま、久喜、越谷のアメダスデータとのポイント比較では、さいたま、久喜はよく一致し、越谷は低めの予想となった。

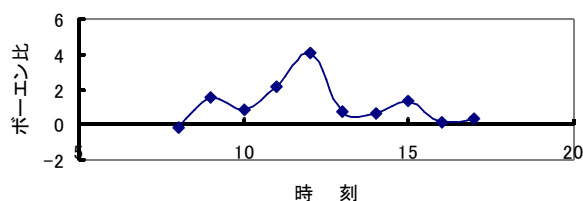
郊外—市内—郊外における夜間の気温分布(2004年8月18日)



岩槻公園を横断する湿度分布(2004年8月19日)



春日部市街地(2004年7月23日)



土壌フィルターによる NO_x 除去の可能性

関 平和・[○]奥村 綱雄（金沢大・工）

汚染土壌や有機系廃棄物の処理は、大部分が焼却によってなされているが、その際ガス化した重金属、NO_x、SO_x などの有害ガスが発生する。このうち重金属、SO_x については回収・処理する技術が確立されている。しかし、NO_x については大規模な装置に頼らざるを得ない上に処理コストも高い。そのために廃棄物や汚染土壌の焼却時に排出される NO_x は問題となっている。

この問題に対し、幾つかの企業は NO_x を含むガスを土壌へ強制通気し、土壌で NO_x 吸着する実験を行なっている。この構想は土壌を主体とする為、設備コストは低く、また、メンテナンスコストも低く見積もられ、上記の問題に対して有効である。しかし、NO_x 吸着のメカニズムおよび理論の詳細が明確になっていないため操作は経験的な知見に頼っているのが実状である。NO_x 吸着の機構と理論を明らかにすることは NO_x 除去の効率を上げ、更なるコストダウンにつなげることができる。

本研究では焼却場から出る NO_x を土壌へ送り込み捕集するシステムに着目し、理論のモデル化を試みた。まず、土壌内のガス移動プロセスのモデル式を組み立て、実験結果との比較により O₂-N₂ 系の相互有効拡散係数を決定した。次いで NO-空気系の相互有効拡散係数を求め、吸着項を含まない「NO 移動モデル」を作成した。

<理論>

O₂-N₂ 気体相互拡散の基礎式

$$\varepsilon \frac{\partial X}{\partial t} = D \frac{\varepsilon}{\xi} \frac{\partial^2 X}{\partial Z^2} - v \frac{\partial X}{\partial Z} \quad \dots (1)$$

$$\text{境界条件} \begin{cases} Z = 0 : X = 1 \\ Z = L : V \frac{\partial X}{\partial t} = -AD \frac{\varepsilon}{\xi} \frac{\partial X}{\partial Z} \end{cases}$$

$$\text{初期条件} \quad t = 0 \quad ; X = 0.79$$

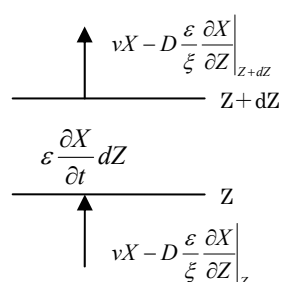


Fig.1 ガス収支

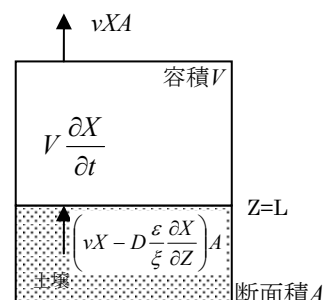


Fig.2 境界条件 Z=L

微小区間でのガス成分の収支を Fig.1 に示

す。土壌を通過したガスは容積 V のガスチャンバーを経て装置から排出される (Fig.2)。

Fig.3 は O₂ 濃度の経時変化を示す。計算結果と実験結果に良好な一致が見られる。このときの N₂ 有効拡散係数は 0.076 m²/h である。Hirschfelder の式による推算結果によれば N₂、O₂、NO の拡散係数はほぼ等しいとみなせるので NO の有効拡散係数を 0.076 m²/h とした。

Fig.4 は(1)式に有効拡散係数(0.076)を用い、諸条件を(Z=0;X=2.0E-4、t=0;X=0)とした土壌層出口における NO 濃度の計算および実験結果である。両者に差があることから吸着現象が起こったことがわかる。この場合、計算結果と実験結果の差を吸着された量とみなすことができる。今後、基礎式に吸着項を組み込み、吸着を考慮した「NO 吸着モデル」を完成させる予定である。

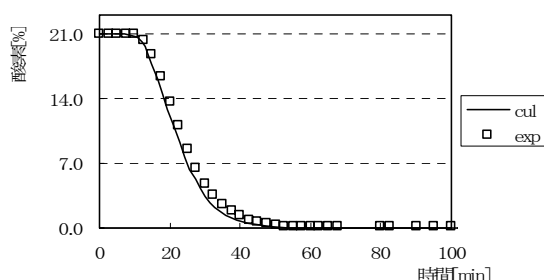


Fig.3 酸素濃度

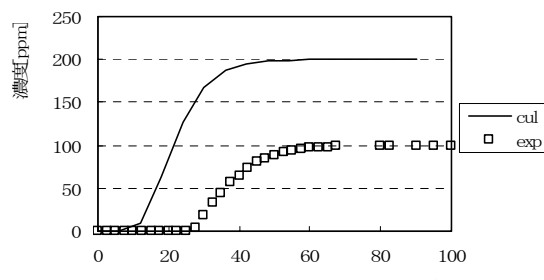


Fig.4 NO濃度

4 成分型放射収支計による入射短波・長波放射の測定精度の検討

○宮田明（農環研），吉越恆（九大院農学院），山田智康，小野圭介，
永井秀幸，間野正美（農環研）

1. はじめに 近年の野外観測では、入射・反射短波放射量と下向き・上向き長波放射量の各放射要素が得られる 4 成分型放射収支計が使用される場合が多い。しかし、その保守について関心が払われることは少なく、測器の測定精度や長期的な感度変化に関する報告はほとんどない。本研究では、茨城県つくば市真瀬の水田フラックス観測点で、市販の 4 成分型放射収支計を用いて測定した 5 年間のデータを、最寄りの気象官署である高層気象台（つくば市館野）の放射観測資料と比較し、4 成分型放射収支計による入射短波放射量と下向き長波放射量の測定精度や感度の長期変化について検討した。

2. 方法 真瀬水田観測点で、4 成分型放射収支計（Kipp & Zonen 社、CNR1）を用いて測定したデータを解析に使用した。放射収支計の設置高度は地表から 2.35m で、長波放射量センサへの結露防止用のヒーターは使用していない。観測開始前のメーカーによる校正で決定されたセンサの感度（ S_0 ）を用いて、電圧値を各放射要素（1 時間値）に変換した。比較対象とした高層気象台のデータは、短波放射量は CM21（Kipp & Zonen 社、ISO 二次標準）、長波放射量は PIR（Eppley）で測定された 1 時間値である。

3. 結果および考察 館野の入射短波放射量を基準として月ごとに決定した CNR1 の短波放射量センサの感度は、冬季に高く夏季に低い季節変化を示し、変動幅は S_0 に対して -2.8% から +4.7% の範囲であった。月別に感度の経年変化を調べたが、統計的に有意な経年変化は見られなかった。月ごとの感度（ S_0 に対する相対値）と気温の間には負の相関が認められ、最小二乗法で決定した直線の傾き（ $-0.0013 \pm 0.0002 \text{ K}^{-1}$ ）から想定される感度の温度依存性は、メーカー保証値（ -10°C から 40°C の範囲で 6%）とほぼ一致した。感度として S_0 を用いて、全観測期間の無欠測日の日積算短波放射量を計算し、館野の日積算値と比較したところ、回帰直線の傾きは 0.998（ $R^2=0.997$ ）、RMS 誤差は $0.40 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ （データ数 349）であった。このように、要求される測定精度が 1 時間値で 5%、日積算値で $0.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 程度であれば、CNR1 の短波放射量センサは 5 年間校正無しで使用できることがわかった。ただし、センサの感度に温度依存性があり、5-6% の季節変化を示す点には注意が必要である。

CNR1 による下向き長波放射量測定における誤差要因としては、(1) センサ上面のウインドウへの結露、(2) ボディ温度の測定誤差、(3) 日射によるウインドウの加熱、が考えられる。これらの影響を受けたデータの除去や補正は難しく、長波放射量センサの感度の季節変化や経年変化を検討することはできなかった。結露の影響を検討するため、2002 年 1 年間の CNR1 による下向き長波放射量（1 時間値）について、ボディ温度に対する周辺空気の相対湿度が 97% を越えた場合のデータ（約 21%）を除去した。この結果、館野の下向き長波放射量に対する RMS 誤差は 13.7 Wm^{-2} から 9.7 Wm^{-2} に減少した。このように、結露が下向き長波放射量の測定に及ぼす影響は大きく、また下向き長波放射量測定用のセンサにのみ結露が生じた場合には、正味放射量の測定値にも影響が及ぶ。したがって、夜間の測定値も重視する場合には、湿度をモニタしながら結露防止用のヒーターを制御することが望ましい。

日本海沿岸の山岳斜面における大気微量成分の沈着量(3)

皆巳 幸也 (石川県農業短期大学)

1. はじめに

大気微量成分の湿性沈着量を支配する重要な因子である降水量は標高に強く依存する。その結果として現れる沈着量の標高依存性を明らかにすることは、これら成分が大気から除去される量を一定の領域で面的に把握するために不可欠である。

能登半島は本州から日本海へ突き出した位置にあり、大規模な汚染源にも近接しないため、大陸域から輸送された物質(黄砂や越境大気汚染物質など)の沈着量が状況によっては大きくなる。本研究では、半島の最高峰である宝達山の西側斜面に標高が異なる観測点を設定し、湿性沈着量を同時に測定した。そして、沈着量を標高と関連づけて評価した。

2. 方 法

観測点は宝達山(石川県押水町)の山麓から山頂にかけての4箇所に配置し、試料の同時採取は2002年9月に開始した。各地点では、地上高が約2mの位置に円筒形ポリプロピレン製容器を固定するポールを立てて試料を採取した。沈着量は一降水ごとに求めた。

回収後の容器はそのまま持ち帰り、採水量を秤量した。そして電極法でpHとEC(電気伝導度)を測定した後に濾過し、冷蔵保存した。溶存成分(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ ; Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-})はイオンクロマトグラフ法で定量し、沈着量は採水量と濃度から計算した。

3. 結果と考察

ここでは、寒冷前線の通過後、冬型の気圧配置となったときの事例(2003年3月27日)について記す。なお、降水の中心的な時間帯であった19:00からの後方流跡線解析の結果は、宝達山に到達した気塊が、日本列島の影響を多少は受けながらも、元は大陸域を通過してきたものであることを示していた。

図は、陰イオン成分の沈着量を示したものである。沈着量は、 Na^+ , Cl^- では標高が高いほど少なくなっていたが、 NH_4^+ や NO_3^- は標高によらず殆んど一定であった。また、 nss-SO_4^{2-} では標高が高くなるにつれて沈着量は多くなる傾向を示した。その原因としては、まず海岸からの(水平)距離が挙げられる。即ち、粗大粒子である海塩性エアロゾルは、そのままだでも、また凝結核となることでも除去されやすいため、存在量は海岸から離れるに従って急激に少なくなり、それを前駆体とする Na^+ や Cl^- の濃度も低くなったものと考えられる。その他の成分は、前駆体が主に微小粒子や気体であることから、大気中での存在量の標高依存性は小さいと思われる。そして、 NH_4^+ や NO_3^- の沈着量が一定であったのは、大気からの供給量が全て降水に取り込まれた(全量が洗浄された)と考えれば説明できる。 nss-SO_4^{2-} に関しては、濃度が一定で沈着量は降水量に比例しており、氷晶核として活性化する粒子に含まれていることや、供給量が多いために洗浄し尽くされていないことが考えられる。

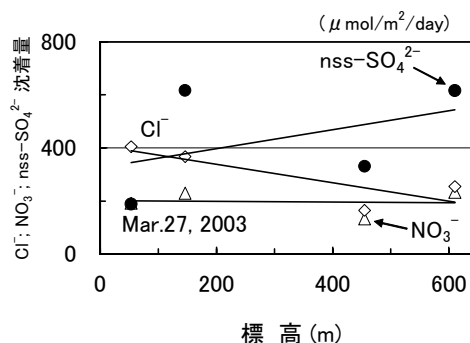


図 陰イオン成分の沈着量。(2003年3月27日)

富士山頂の大気エアロゾルに対する春季・秋季の黄砂の影響

東真紀子・[○]皆巳幸也（石川県農業短大）・兼保直樹（産業技術総合研究所）・

高橋宙・五十嵐康人（気象研究所）・土器屋由紀子（江戸川大学）

1. はじめに

富士山は孤立した高峰であることから、その山頂は自由対流圏の大気が連続的に観測できる絶好の位置にある。この条件を利用して、演者らのグループでは1990年以来、富士山頂での大気化学観測を行ってきた。2002年11月11～14日には、秋季としては珍しく大規模な黄砂現象が観測された。今回は、その時期に採取した大気エアロゾルに含まれる無機イオン成分を分析した結果について、翌年3～4月の結果と併せて発表する。

2. 方 法

試料はハイボリュームエアサンプラーで石英濾紙上に採取した。濾紙は原則として毎日午前9時前後に交換した。捕集部分は177mm x 230mmの長方形で、その中から直径33.5mmの円形に濾紙を打ち抜いて成分分析に供した。抽出操作としては、分析する前日にポリエチレン製の密閉容器内で Milli-Q 水に浸した後、そのまま翌日まで静置した。主要イオン成分の定量にはイオンクロマトグラフ法を用いた。

3. 結果と考察

2002年11月に黄砂現象を観測した国内の気象官署は、11～14日にそれぞれ1,79,49,6地点であった。富士山に近い地点では、甲府で12日に観測したのみであり、静岡では観測されなかった。図は、陽イオンは2002年の11月前半、陰イオンは同月の全体について、大気中濃度の推移を示したものである。黄砂が観測された期間では11日に NH_4^+ が、12日に nss-Ca^{2+} （非海塩カルシウム）、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} が、それぞれ高濃度を示している。 nss-Ca^{2+} は黄砂の指標とされる成分であり、現象のピークが12日（甲府での観測日）に現れたことが判る。また SO_4^{2-} や NO_3^- も、同じ日に多くの量が到達しているのに対し、 NH_4^+ だけはこれら成分に先立ってピークを迎えたことになる。大陸から輸送される硫酸塩と黄砂粒子の飛来には数時間のずれがあることが報告されており、今回の結果は、時間分解能は粗いものの、それを支持したものと考えられる。なお、両日のいずれも21時を到達時刻とした後方流跡線解析（NOAA Hysplit）によれば、11日は中国の長江流域、12日は中国北部の沙漠地域を通過してきた気塊が富士山頂に到達していた。

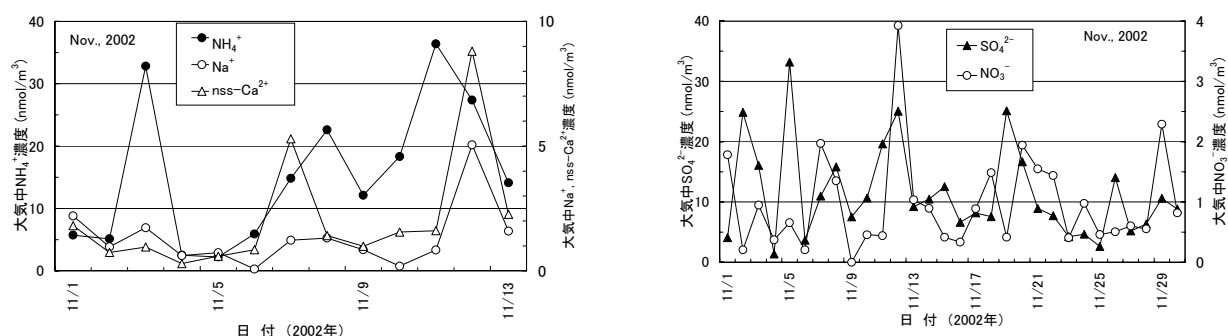


図 富士山頂で採取したエアロゾル中イオン成分の推移（2002年11月）。

左： Na^+ 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} ；右： NO_3^- 、 SO_4^{2-}

チベットにおける最近の気候変化、畜産生産とCO₂フラックスの関係について

杜 明遠 (農環研)・古 松・趙 亮 (中国科学院西北高原生物研究所)
川島 茂人・米村 正一郎・井上 聡 (農環研)・加藤 知道 (地球フロンティア研究システム)
唐 艶鴻 (国立環境研究所)・李 英年・趙 新全 (中国科学院西北高原生物研究所)

1. 目的

大規模に広がる温帯高山草原生態系である中国の青海高原草原において、最近の気候変化、畜産生産とCO₂フラックスの関係の解明を試みる。

2. 方法

- 1) 代表的な温帯高山草原生態系において、観測システムを設置し、大気・気象環境を計測する。観測項目は、放射収支、水収支、CO₂フラックスなどである。
- 2) 地域レベルの既存する気象データを収集し経時的変動や地域間差異を調べる。

3. 結果の概要

1) 図1に示すように青海高原草原にある中国科学院西北高原生物研究所の海北試験場に生物気象自動観測システムを設置し、2001年夏から自動観測を始めた。また、チベット高原における86個気象観測所の1978年以來の月平均気温と降水量データと全地域畜産の年生産量データを収集し、解析を行った。

2) 図2に示すように、1978年以來チベット高原における気温と畜産生産量は増加の傾向がある。特に、畜産生産量は1978年以來1~3倍を増えた。チベット高原における放牧地は農地の80%を示し、畜産は主要産業である。図3に示すように、畜産生産量と夏気温の変化量は正の相関がある。チベット高原では、家畜飼料の輸入はなく、人工草地もないため、畜産生産量の増加は天然草地からのバイオマス供給量の増加によるものと考えられる。

3) 図4に日積算CO₂フラックスと日平均気温の関係を示す。日平均気温が5℃以上、あるいは日平均地表温度が10℃以上になるとCO₂フラックスは吸収になり、吸収速度(負のフラックスの絶対値)は温度の上昇と正の相関がある。これは、生育期間内に温度の上昇と共に植物の成長と植物光合成量の増加があるためと考えられる。日平均気温が5℃以下、あるいは日平均地表温度が10℃以下になるとCO₂フラックスは放出となり、放出速度(フラックスの値)は温度と正の相関がある。これは、非生育期間、特に生育期間前後に、温度の上昇に伴う土壌呼吸速度の増加があるためと考えられる。最近夏の気温の増加はCO₂フラックスの変化と関係が深いと考えられる。

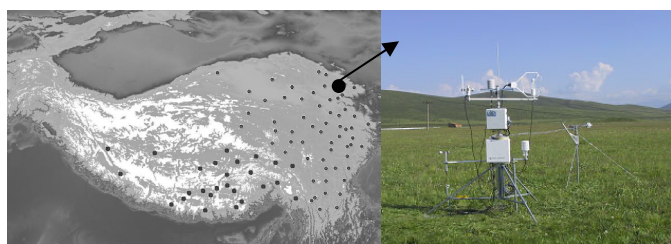


図1 チベットにおける気象観測所と海北試験場のAWS

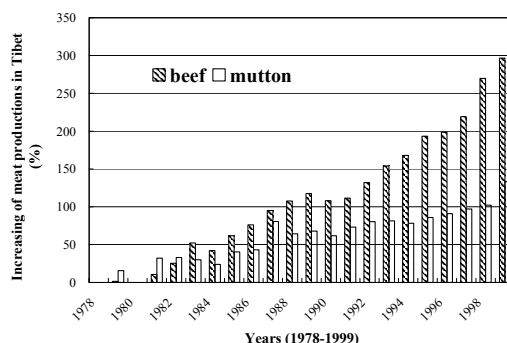


図1 チベット高原の畜産生産量の変化

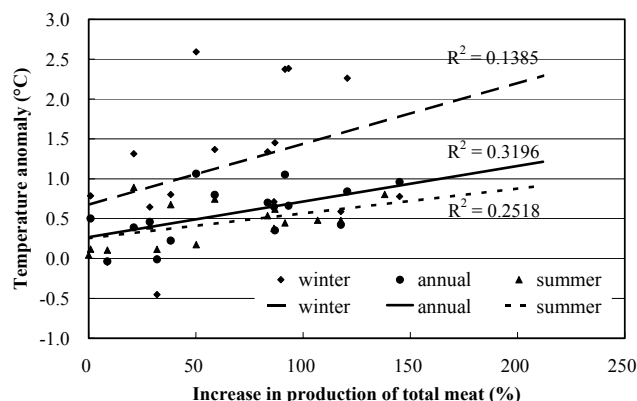


図3 チベット高原畜産生産量の増加と気温変化の関係

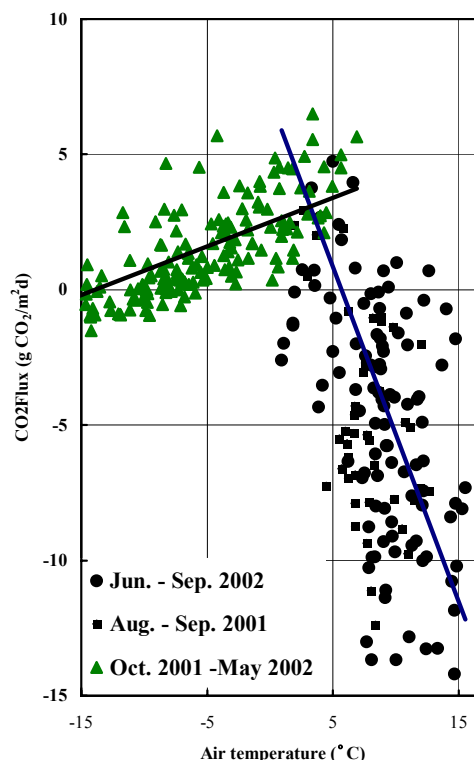


図4 日積算CO₂フラックスと日平均気温(2.2m)の関係

裸地上で測定された下向き CO₂ フラックスの原因について

○小野圭介, 宮田 明 (農業環境技術研究所)

1. はじめに

植生がなく土壌面が露出した地表面（ここでは裸地と呼ぶ）上では，土壌呼吸速度に相当する小さな放出（上向き）の CO₂ フラックスが期待される．筆者らは，これに近い条件の非耕作期の水田上で，オープンパス型渦相関法（OPEC），クローズドパス型渦相関法（CPEC），ダイナミッククローズドチャンバー法，改良傾度法を用いて CO₂ フラックスを測定した．その結果，OPEC のみ，WPL 補正（Webb *et al.*, 1980）後にフラックスが下向きになる場合があることを確認した．OPEC と CPEC の CO₂ フラックスの差が WPL 補正式の顕熱フラックスに関わる項に起因すると仮定すると，両者の差をなくするためには，超音波風速温度計（SAT）で測定される 1.5 倍の顕熱フラックスが必要になることがわかった．そこで，オープンパス型赤外線ガス分析計（OIRGA）の測定パス上でこのような大きい顕熱フラックスが発生しているのかどうか，細線熱電対（FWTC）を用いて観測を行ったので，結果の一部を紹介する．

2. 方法

2004 年 10 月 15 日から 22 日にかけて，つくば市真瀬のフラックス観測サイトの設置高 3m の常設 OPEC 測定システムに自作の FWTC（T 型，素線径 0.1mm）2 本を付設し，SAT（DA-600 TR-62AX, Kaijo）の鉛直風速測定パス付近と OIRGA（LI-7500, LI-COR）の測定パス付近の気温変動を測定した．FWTC の信号は渦相関測定システムの信号とともに AD 変換器（CR23X, CSI）を通し，10Hz で PC（Libretto60, TOSHIBA）に記録した．

3. 結果と考察

日射の強い昼間に，OIRGA に付置した FWTC で測定された気温の標準偏差が SAT に付置した FWTC に比べ 1.5 倍近くになることがあり，また，気温自体も前者が高めであった．器差を確認するため，観測終了後両者を並置し比較観測を行ったところ，平均値は非常によく合っていたが，標準偏差は SAT 側に設置したものの方が系統的に大きな値を示した（～8%）．これらの結果から，OIRGA の測定パス付近の気温変動は SAT のそれに比べ，最大で 1.8 倍程度過大であったといえることができる．もし鉛直風速の変動と，気温変動との相関係数が両測定パス上で同一であれば，気温変動のより大きな OIRGA の測定パス付近の方が顕熱フラックスもより大きい．したがって，WPL 補正に，SAT 測定パス上での顕熱フラックスを用いると，補正が過小評価となり，見かけ上，上述のような下向きの CO₂ フラックスが現れると考えられる．

しかし，今回の観測期間中に，FWTC の素線表面において，クモの糸の付着や酸化が顕著（かつ不均一）に認められ，FWTC の応答特性が変化している可能性があった．また，町村（1998）で指摘されているように，素線径 0.1mm では日射の影響を避けられないが，本実験では直達日射遮蔽装置などは設置しなかったため，日射の違いや FWTC 間の放射特性の差異が上記の結果に影響を及ぼしていた可能性もある．今後，放射の影響を受けにくい，より細い素線（0.025mm 程度）を用いて再度実験する必要がある．

多重代入法を用いた渦相関フラックスデータの欠測補完

小林義和^{1○}・宮田 明¹・永井秀幸¹・小野圭介¹・韓光鉉¹・間野正美¹・

山田智康¹・M.A. Baten²・原園芳信³

(¹農環研, ²バングラディッシュ農業大学, ³国際北極圏研究センター)

1. はじめに 渦相関法によるフラックス測定に基づき生態系の二酸化炭素フラックス(Fc)などを評価する場合、欠測補完を適切に行う必要がある。従来、非線形回帰 (NLR)法、表検索 (LUT)法が欠測値補完に広く利用されてきた。最近、新たな補完法として、多重代入(Multiple Imputation: MI)法が Hui et al. (2004)によって紹介された。彼らは、複数の森林サイトにおける Fc などの欠測補完に MI 法を適用し、妥当な年間推定値を求めている。本報では、地表面・植生状態が農作業によって大きく変化する水田で得られた Fc の欠測補完に MI 法を適用し、その有効性を検討する。

2. MI 法の概要 MI 法は、観測された渦相関フラックス及び関連する微気象データに基づき、個々の欠測箇所に対して、モンテカルロ法により複数(m 個)の補完値の候補を生成し、次いで m 個の完全な時系列データセットを解析し最終的な補完値を決定する手順から成る。MI 法は、① NLR 法や LUT 法に付随する閾値や階級分類の設定など、煩雑かつ恣意的な判断の入る可能性がある過程を含まない、②統計学的に標準手法が確立されている、③データ欠損率が 50%程度でも欠測パターンが“ランダム”であれば適用可能、といった利点がある。

3. 方法 茨城県つくば市の水田で 2001 年に通年観測された Fc の欠測補完に MI 法を適用した。補完に用いた 30 分観測値は、Fc、潜熱・顕熱フラックス、正味放射量、光合成有効放射量、摩擦速度、風速、飽差、相対湿度、気温、地温及び日時情報である。まず、通年データに対し MI 法を適用し、Fc の欠測補完を行った (方法 A)。また、イネ・灌漑水の有無を考慮し、1 年を 9 期間 (I ~ IX 期)に分割し、分割期間ごとに MI 法による欠測補完を施した (方法 B)。方法 A・B による Fc の年間または期間推定値を NLR 法から求めた各推定値と比較し、MI 法の有効性を考察した。解析は無償ソフトウェア“NORM”を用いた。各欠測箇所あたり 10 個の補完値の候補を生成し、これら 10 個の平均値を各欠測箇所の補完値とした。計算条件は Hui et al. (2004)に従った。

4. 結果・考察 方法 A から得られる年間 Fc = $-387 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ は、NLR 法の $-194 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ と比較して大きな差があった。一方、方法 B から年間 Fc を求めると $-276 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2}$ となり、NLR 法との差は減少した。水田では、移植・収穫・灌漑・中干しにより植生や地表面状態が短期間で一変する。このことが、方法 A と NLR 法から得られる年間 Fc の間に差を生んだ原因の一つと考えられる。次に、方法 B による Fc の期間推定値と NLR 法によるそれを比較した (Fig. 1)。2 つの手法から求めた Fc の各期間推定値は期間 I・Ⅲを除き標準誤差内で一致した。方法 B と NLR 法から得た年間 Fc の差は、期間 I・Ⅲに現れた両手法間の期間推定値の差で説明できた。期間 I は、Fc の欠損率が 63%と著しく高い点が、また、期間Ⅲは日中と夜間の Fc の欠損率が大きく異なり、欠測パターンの点から MI 法には不適な期間であると判断された。最後に、MI 法と NLR 法による Fc の期間推定値が一致した期間について、MI 法によって付与された個々の補完値の妥当性を確認した。Fig. 2 に示すように、個々の MI 法による Fc の個々の補完値は、観測値及び NLR 法による補完値を組み合わせ描いた Fc の時系列上に矛盾無くプロットされた。以上から、MI 法は地表面、植生状態、データの欠損状況を考慮した上で利用すれば、渦相関フラックスデータの欠測補完法として有効であると結論される。【*文献: Hui et al., 2004. Agric. Forest Meteorol., 121, 93-111.】

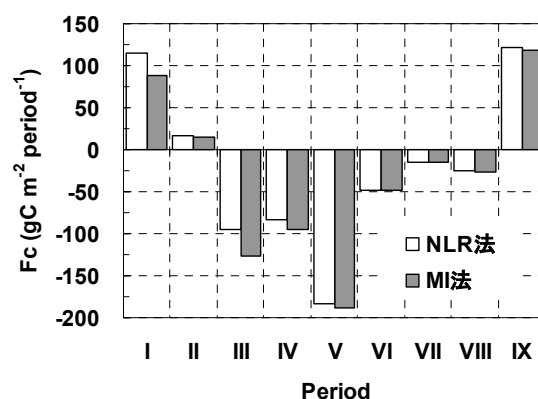


Fig. 1 分割期間毎に MI 法を適用して求めた Fc と NLR 法から得られる Fc の比較.

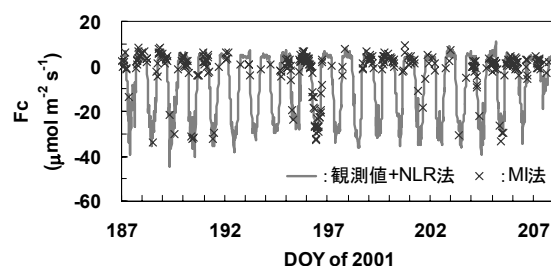


Fig. 2 分割期間ごとに MI 法を適用して求めた Fc の補完値と観測値及び NLR 法による補完から得られた Fc の日変化パターンの比較.

北陸地方における 2004 年の気象災害について

○小南靖弘・横山宏太郎（中央農研北陸）

はじめに

2004 年は気象災害をはじめ、噴火、地震等様々な自然災害に見舞われた年であった。気象に限っても台風や大雨による甚大な災害や関東をはじめとする記録的な猛暑など、まさに「異常気象」と言うべき事象が頻発し、北陸地方においても様々な被害が見られた。そこで農林水産官房統計部、各県の農林水産部等、各県地方気象台の資料、および技術会議調査団の報告、新聞記事などから北陸地方の気象災害について抜粋した。

気象経過

4 月は高温傾向、5 月は記録的な多雨・寡照であった（福井・金沢・富山で 5 月降水量の極値、新潟で 5 月日照時間の最低極値を更新）。梅雨入りは平年よりも 3 日程度早い 6/7 頃であった。7 月は梅雨前線の活動が活発化し、大雨となった。7 月末から 8 月前半は高温・多照で推移し、相川で最高気温の極値を記録した。また、金沢の 6 月および 7 月の月平均気温も累年 1 位の記録となった。8 月後半から 9 月には 3 個の台風があいついで接近した。9 月中旬以降は高温傾向で、10 月には台風 23 号が本州中部を通過した。

7 月の集中豪雨被害

日本海から福島にかけて停滞した梅雨前線が活発化し、7 月 12 日夜半から 13 日にかけて新潟県で大雨となった。栃尾アメダスの日降水量が 421mm を記録した他、三条の日降水量(208mm)、1 時間降水量(51mm)および長岡の日降水量(225mm)が極値を更新した。これにより刈谷田川、五十嵐川、能代川で 11 箇所が決壊、農地 13,662ha が被害を受けた。7 月 18 日には福井県で梅雨前線が活発化し、福井の日降水量(198mm)、1 時間降水量(75mm)、10 分間降水量(19mm)が極値を更新した。この大雨では足羽川、清滝川で堤防決壊、また JR 越美北線の鉄橋流出等の被害があった。

台風被害

2004 年は合計 10 個の台風が日本本土に上陸したが、北陸地方に直接影響を与えたのは 6,15,16,18,21,23 号であった（図）。このうち、15,16,18 号は日本海を北上し東北北部～北海道南部に再上陸という 1991 年 19 号（いわゆるリンゴ台風）と同様の進路で、東北では果樹を中心に 288 億円の被害をもたらした。北陸地方の被害額は新潟が 165 億円（全国 1 位）、石川 14 億円、富山 7 億円、福井 4 億円であった。新潟では佐渡の被害が大きく、塩害による水稻・大豆被害、果樹の損傷等が目立った。また、日本海を進む台風によるフェーン現象も頻発した。23 号については被害が確定していないが、速報では大麦の浸水、果樹の落果、杉の倒伏等が報告されている。

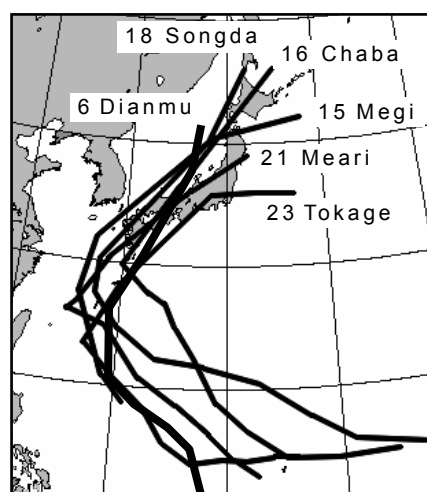


図 2004 年に北陸地方に接近した台風（気象庁原図）

十勝平野における 12 月の積雪期間の推定と分布

○井上 聡（農業環境技術研究所）、広田知良、岩田幸良（北海道農業研究センター）

方 法 北海道十勝平野において、近年積雪が増加している。そこで 12 月の積雪期間について解析した。次に示す気象庁の観測データを使用した。帯広（1961 年～2003 年）、上士幌（1987 年～2003 年）、新得（1984 年～2003 年）、本別（1985 年～2003 年）、芽室（1987 年～2003 年）、浦幌（1985 年～2003 年）、上札内（1984 年～2003 年）、大樹（1985 年～2003 年）。気象庁による月別統計値を主に用いたが、12 月の積雪日数は積雪深の日最深積雪が 20cm 以上の日数、30cm 以上の日数を数えた。

積雪期間を簡便に推定するために、統計的な手法を試みた。長期間のデータがあり、十勝平野の中心でもある帯広の月別値を用いて、各気象要素の相関を求めた。そして、相関の高かった気象要素を用いて、全解析地点を対象に、統計的に積雪期間を推定する手法を開発した。

結果と考察 相関が一番高かったのは実測された 12 月の積算降雪深であった。しかし、Inoue and Yokoyama (2003)の方法による 12 月積算降雪深の推定値では相関が下がり、12 月の実測降水量と同等であった。これは、経験式で定数で与えた降水量計の捕捉率が実際には風速によって影響を受け大きく変動すること、降雪の相当水量を降雪深に変換する際の密度の誤差が理由として考えられる。また、気温が常時氷点下であるため、降水形態は常に雪として判別されることから、降水量の増減がそのまま降雪深の増減に反映され、推定降雪深と降水量との相関係数が同じになった。図に、12 月降水量と 12 月の 20mm 以上の積雪日数との関係を示す。降水量が多いほど積雪日数が増えるが、降水（降雪）現象が発生する時期によって、積雪日数が変化するため、ばらつきが大きかった。

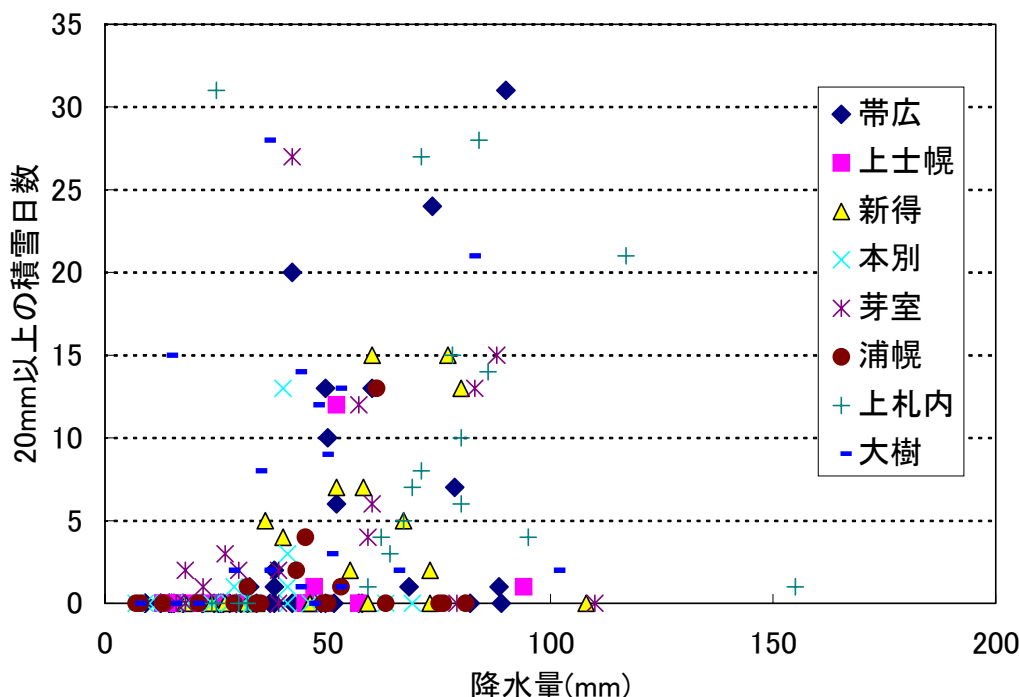


図 全地点の 12 月降水量と 12 月の 20cm 以上の積雪日数

水ストレスを受けたダイズ光合成能力の圃場分布の可視化

大原源二（中央農研セ）・竹田博之（近中四農研セ）

1. はじめに：近年多発するダイズの青立ちは、汚粒の発生や品質の低下、収穫量の増大を招き大きな問題となっている。青立ちは、水ストレスによるシクとソースのアンバランスが原因といわれるが、圃場の実態が把握できず不明の点が多い。そこで、水ストレスを受けたダイズの光合成能力を圃場条件で可視化することを試みた。

2. 実験方法：1) 供試ダイズの栽培法：近中四農研セのライメタにサチカを 03 年 6 月 23 日に播種し、慣行に従って管理した。地下水位は播種後 8 月 3 日まで無調整、8 月 3 日から 8 月 15 日まで 30cm、その後は 40cm とし、無処理の対照区と表 1 に示す 3 処理を 3 反復で設置した。処理期間中降雨時は移動屋根で覆った。また、標高 300 ～ 400m の農家圃場に 6 月 24、26 日に播種し、慣行に従って栽培した。**2) 水ストレスの測定：**携帯型光合成蒸散測定システム(盟和商事 LI-6400R)を用いて、CO₂ 濃度と温湿度はなりゆき、光量は 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、通気量は 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$ で気孔コンダクタンスと光合成速度を測定した。**3) 光合成能力の可視化：**圃場全体を熱画像撮影装置（NEC 三栄 TH7102MX）を用いて高所から見下ろすように撮影し、同時測定の上記結果を用いて、葉温から気孔コンダクタンスを推定し、さらに光合成速度を推定することで、熱画像から光合成能力の圃場分布を可視化した。

3. 実験結果及び考察：1) 水ストレスの測定結果：気孔コンダクタンスと光合成速度を 9 月上旬から中旬にかけて現地圃場で 2 回、所内で 4 回測定した。測定結果を図 1 に示す。可視的な萎凋の兆候が観察される前に、気孔コンダクタンスが低下して、光合成速度が大きく低下した。**2) 光合成能力の可視化：**気孔コンダクタンスと葉温の測定値を図 2 に示す。図 1 と図 2 の関係を用い、さらに葉面上の境界層抵抗等を加味した炭酸ガス輸送モデルに従い、光合成能力を評価した結果を、熱画像とともに図 3、4 に示す。圃場の可視写真は図 5 に示す。水ストレス発生時には、葉温が大きく上昇して、光合成能力が大きく低下した。可視的な萎凋が認められる前に光合成能力が大きく低下することは注目する必要がある。圃場の光合成能力の分布を可視化でき、可視的な萎凋が認められる前に光合成能力が低下することを示せ、水管理を計画的に行うことが青立ち防止に極めて重要であることを明らかにした。こうした知見と方法は、ダイズの青立ち防止策の立案に極めて有用と考えられる。

表 1. 土壌乾燥処理した期間と大豆の生育時期

生育段階	開花期～莢伸長期	莢伸長期	子実肥大期
処理期間	8 月 6 日～ 8 月 24 日	8 月 18 日～ 9 月 5 日	9 月 6 日～ 9 月 24 日

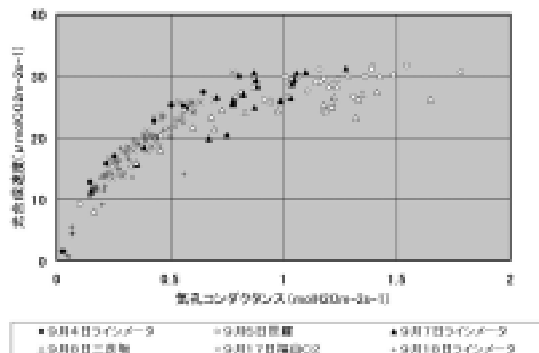


図 1 気孔コンダクタンスと見かけの光合成速度の測定結果(9 月 18 日 13 時 43 分～14 時 55 分、20 秒毎撮影平均)

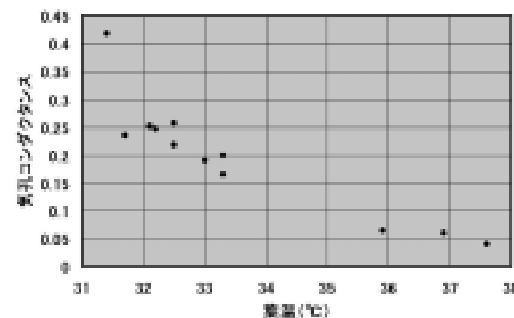


図 2 区毎の葉温と気孔コンダクタンスの測定結果

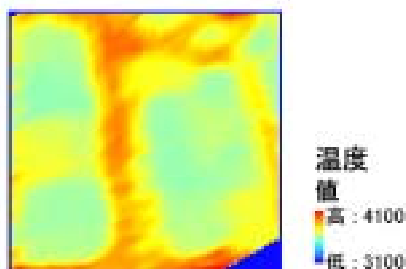


図 3 熱画像平均値
(単位は 1/100 °C)

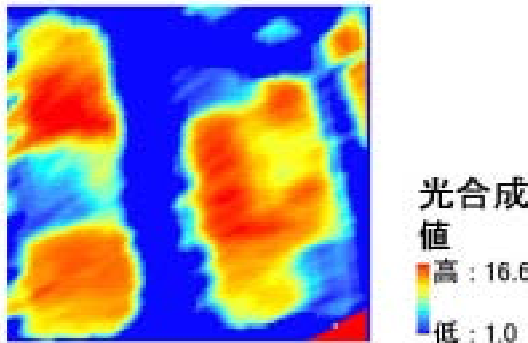


図 4 熱画像と単葉の気孔コンダクタンス、光合成速度測定結果等から推定した圃場の光合成能力 ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)



図 5 光合成能力評価時の可視写真

光質の異なる蛍光灯下で栽培した葉菜類の成育とカロテノイド含量

○高瀬将映・大橋敬子・劉小桂・蔵田憲次

(東京大学大学院農学生命科学研究科生物環境工学研究室)

光質は植物の形態形成や運動，光合成，色素合成などに影響を及ぼす。これらの性質を利用すれば，人工光利用の施設栽培において，光質を制御することで作物の食品価値を向上させることができる可能性がある。そこで我々は，人工光利用の施設栽培が盛んな葉菜類を対象に，光質が作物の形態及び品質に関わる有用物質含量に及ぼす影響について調査している。ここで有用物質とは，食味に関わるショ糖，抗酸化物質であるアスコルビン酸（ビタミンC）やカロテノイド類（ β -カロテンなど），アントシアニン，無機栄養素である鉄やカルシウムなどを指す。本研究ではまず，光合成補助色素でもあるカロテノイド類について調査を行った。供試植物にはホウレンソウ（*Spinacia oleracea* L. cv Okame）を，栽培光源には青色及び赤色蛍光灯を用いた。

方法

播種後 7 日間は，3 波長形白色蛍光灯を用いて明期 16 時間，暗期 8 時間，気温： $23 \pm 1^\circ\text{C}/20 \pm 1^\circ\text{C}$ （昼/夜），光合成有効光量子束密度（以後，PPFD）： $270 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で育成した。播種後 8 日目に移植し，水耕法で栽培した。また同日より光質処理を開始した。処理区には赤色，青色蛍光灯をそれぞれ単独照射した赤色区及び青色区，両者を混合照射した赤青区，対照区として白色蛍光灯を照射した白色区を設けた。表 1 に各処理区の波長組成を示す。すべての処理区において，最上位葉面での PPFD が $300 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ になるように調節した。光質処理開始後 30 日目の器官別新鮮重，乾物重，葉面積を測定した。また，同日の明期終了 30 分前に第 3 葉から直径 6 mm のリーフディスクを作成し，速やかに液体窒素で凍結した。そのディスクからカロテノイド類を抽出し，高速液体クロマトグラフィーを用いて分離・定量した。

結果

個体乾物重は青色区のみ著しく低く，他の処理区間では有意差は認められなかった。葉柄への乾物分配は，赤色区で高く，青色区と赤青区で低い傾向を示した。葉の厚さの指標である比葉面積（SLA）は処理区間で有意差は認められなかったが，青色区，赤青区，赤色区の順に小さくなる，つまり葉が厚くなる傾向にあった。

葉新鮮重あたりのクロロフィル含量は処理区間で有意差は認められなかった。葉新鮮重あたりのカロテノイド類含量は，青色区，赤青区，赤色区の順に大きくなる傾向を示した。

以上より，青色光を含む光の照射は，葉柄への乾物分配を低下させ，葉の厚みを増加させ，かつカロテノイド量を増加させることができる可能性が示された。しかし，以前我々が行ったコマツナを用いた実験では，赤色区よりも青色区で葉柄への乾物分配が高く，葉新鮮重あたりのカロテノイド類含量は赤色区と青色区で同程度であり，明らかにホウレンソウとは異なる結果が得られた。このように，光質応答には種間差が存在するので，他の葉菜類についても調査を行う必要がある。

表 1 光源の波長組成（PPFD= $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした）

処理区	UV 300-400nm	Blue 400-500nm	Green 500-550nm	Yellow 550-600nm	Red 600-700nm	FR 700-800nm	Pfr/P
赤色区	0.2	2.1	4.2	14.6	79.0	4.2	0.88
赤青区	1.1	25.5	7.2	14.8	52.6	5.1	0.85
青色区	0.2	75.1	20.6	3.3	1.0	0.8	0.58
白色区	1.2	9.6	12.4	34.2	43.7	4.8	0.86

単位： $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

熱帯における蒸発量の測定(タイ, ミャンマー, ボリヴィアにおける例)

Measurement of Evaporation in the Tropics (In cases of Thailand, Myanmar and Bolivia)

○江柄勝雄 (Katsuo EGARA, formerly Expert of JICA, 10 Naoka Shinden, Joetsu 942-0244, Japan),

Pradit SIRIPONG · Jeravun JARAENPUN

(Narathiwat Land Development Station, Narathiwat 96110, Thailand),

Eddy AJHUACHO

(Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL), Casilla 555, Santa Cruz, Bolivia),

Rubém CASANOVA

(Centro de Investigación y Mejoramiento de la Caña de Azúcar (CIMCA), Saavedra, Bolivia),

John Ba Maw and Soe Myint

(Central Agriculture Research Institute (CARI), Yezin 05282, Myanmar)

はじめに：農業生産には各種の気象条件が関与するが、蒸発量は降水量と共に重要な要素である。とくに熱帯では蒸発量が大きな意味を持ち、研究機関ではこの観測が必須とされている。そこで、タイ、ミャンマーおよびボリヴィアにおける観測例を紹介し、参考にする。

測定方法：①Thailand：NLDS (6°19'N, 101°56'E, 標高 10m)で 1981～89 年の 9 年間観測。平均気温 26.9℃。②Myanmar：CARI (19°49'N, 96°17'E, 110m)で 1999～2001 年の 3 年間観測。雨量と気温は 1983～2001 年の 19 年間観測、平均気温 26.7℃。③Bolivia: CIMCA (17°14'S, 63°13'W, 260m)で 1973～97 年の 25 年間観測。雨量と気温は南東 40km の CETABOL で 1969～98 年の 30 年間観測、平均気温 23.8℃。

以上の 3 地点ではいずれも直径 200cm の蒸発計を使用。欠測値は近隣のデータを参考にして補正。これがない場合は、2 元分類の欠測値推定法(Snedecor, Cochran 1967)により、処理を月、ブロックを年として補正した。

結果：蒸発量および降水量は表 1 のとおりである。蒸発量が多いのはミャンマーで、他の 2 か所より約 400mm 多く、約 2000mm。これは高温と寡雨に起因している。タイではミャンマーよりわずかに高温であるが、多雨のために蒸発量は多くならない。ボリヴィアではミャンマーと同様寡雨であるが、気温がやや低いため蒸発量は多くならない。

Tab 1. Monthly data of evaporation and precipitation

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Evaporation (mm)													
Thailand	124	128	163	162	139	131	136	133	129	122	107	114	1588
Myanmar	127	132	174	223	185	203	196	160	182	146	127	134	1989
Bolivia*	130	161	168	170	149	126	131	120	131	112	100	96	1594
Precipitation (mm)													
Thailand	53	38	78	44	115	125	136	132	192	181	516	555	2165
Myanmar	2	4	7	24	151	204	223	247	163	137	52	8	1219
Bolivia*	43	49	72	103	125	177	193	163	111	86	82	57	1262

Note: Monthly order for Bolivia is changed as Jul to Dec and Jan to Jun.

日本での現状：高田では 1922-58 の 37 年間は直径 20cm, 59-65 の 7 年間は 102cm の蒸発計(温度補正, 冬季 1～4 か月は休止)で観測。蒸発量は①29 ②35 ③57 ④98 ⑤122 ⑥120 ⑦135 ⑧158 ⑨95 ⑩66 ⑪45 ⑫34 計 993。輪島では 1967-2001 の 35 年間直径 102cm の蒸発計で観測。蒸発量は④69 ⑤93 ⑥82 ⑦106 ⑧109 ⑨74 ⑩54 ⑪31。筑波大学では 97 年 5 月まで直径 120cm の蒸発計で観測。農環研では 1980 年から直径 120cm の蒸発計で観測、ただし欠測、誤データもある。地球温暖化・砂漠化を控え、日本でも観測強化が望まれる。