

関 東 の 農 業 気 象

第 27 号

日本農業気象学会 関東支部会誌

平成 13 年 10 月 (2001)

< 巻頭言 >

アカデミズム激動の時代 蔵田憲次 1

< 研究トピックス >

中国敦煌におけるダスト観測 米村正一郎・杜 明遠 2
気候変化とアジアの農耕地の気候資源量 横沢正幸・岡本勝男 7

< 施設紹介 >

筑波大学陸域環境研究センター 新村典子・李 載錫・浅沼 順 11

< 関東支部 2001 年度例会 >

関東支部 2001 年度例会のご案内 13
一般研究発表 15
シンポジウム講演要旨 37

< 支部報告 >

2000 年度事業報告 56
2001 年度事業計画案 56
2000 年度決算報告 57
2000 年度会計監査報告 57
2000 年度剰余金処分 57
2001 年度予算案 58
編集投稿規定 59
賛助会友 60

日本農業気象学会 関東支部事務局

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

中央農業総合研究センター 耕地環境部 気象立地研究室

振替口座番号 東京 00100-7-57945

日本農業気象学会関東支部規約

昭和28年 6月 6日制定
昭和33年 2月14日一部改正
昭和43年 2月 日一部改正
昭和46年 5月 日一部改正
昭和47年 5月26日一部改正
昭和48年 9月28日一部改正
昭和50年 1月30日一部改正
昭和52年 1月30日一部改正
昭和57年 1月29日一部改正
昭和62年 1月21日一部改正
平成 2年 1月26日一部改正
平成 6年11月25日一部改正

- 第1条 名称
本支部は日本農業気象学会関東支部と称する。
- 第2条 事務所
本支部事務所は支部長の指定するところにおく。
- 第3条 目的
本支部は日本農業気象学会の目的達成に必要な地域的活動を行う。
- 第4条 事業
本支部は前条の目的を達成するために次の事業を行う。
事業年度は4月から3月までとする。
1. 支部総会は年1回開催する。
2. 支部例会は年1回以上行うことを原則とする。
3. 研究部会活動を行う。
4. その他目的達成に必要なと認める事業を行う。
- 第5条 支部会員及び会友
1. 日本農業気象学会の会員のうち下記の区域内に居住し、又は勤務するものを支部会員とする。
東京、神奈川、千葉、埼玉、茨城、栃木、群馬、山梨、長野
2. 前項の他、支部の趣旨に賛同するものは本人の申出により普通会友（個人）ないし、賛助会友にすることができる。
- 第6条 支部会費
支部を維持運営するために、会友が納入すべき会費は年額それぞれつぎのとおりとする。
1. 会友1人1,000円
2. 賛助会友1口5,000円、1口以上
- 第7条 支部役員
1. 支部に次の役員をおく。支部長1名、理事10名以内、評議員若干名、会計監査2名
2. 支部長および理事は会員の全体の選挙によって選出する。
3. 評議員、会計監査は理事会の議をへて支部長が委嘱する。
4. 役員任期は2年とする。但し、支部長ならびに理事は原則として連続2期を越えないことにする。また、支部役員に事故が生じた時は理事会の承認を得て、その役員代行者をおくことができる。
- 第8条 本規約の改定は総会決議による。

研究トピックス

言題巻

中国敦煌におけるダスト観測

米村正一郎・杜明遠

農業環境技術研究所 環境資源部 気象研究グループ 大気保全ユニット

yone@niaes.affrc.go.jp, dumy@niaes.affrc.go.jp

はじめに

両筆者は、外国を対象にいくつかの研究を行っています。米村は、熱帯アジア（インドネシア）域における土地利用変化が温室効果気体の発生・吸収に及ぼす影響に関する研究および焼き畑等のバイオマス燃焼が大気環境に及ぼす研究（インドネシア、マレーシア）、杜は中国で風送ダストに関する研究、高原生態系の植生と炭素収支に関する研究等にかかわっています。このうち、今年3月に調査に行つて来て記憶新しく結果をとりまとめている風送ダストプロジェクトを取り上げて、どんなふうに行つているかおよび結果の概略を紹介します。研究の周辺的な状況についてもふれてみます。

毎年、春になると中国から日本に黄砂が到達しています。なかには北アメリカにまで到達するものもあります。どのようにして、ダストが発生し放射収支までどう効いているかを明らかにするために、平成12年度に気象研究所を中心に風送ダストプロジェクトが立ち上げられました。現在のところの研究期間は3年です。このプロジェクトの中で農業環境技術研究所は、地上観測隊のサブグループ（サブリーダ杜）として参画しています。目的は、ダスト発生メカニズムを明らかにすることです。場所は敦煌の砂漠であります。敦煌はシルクロード上にあり歴史的に東西文化の交流地点として有名ですが、タクラマカン砂漠から中国中心部へ向かうダストの通り道にもなっています。この3月に杜は、交渉面・ハード的な設置面、米村は、ソフト面（Campbell社のソフト）での設定を分担して、砂漠で測定システムの設置を行いました。そして、長期間にわたってダストの舞い上がる現場でダスト量（現在は視程計）および基本気象項目を測定しはじめました。そして、風や地表面の状況とダスト量との関係を探ろうとしています。アジア域の砂漠（中国）では、これらに関して、きちんとした長期間の計測が行われていません。

観測地点と観測内容

観測地点である敦煌の地理的な場所を図1に示します。観測地点は2ヶ所ですが、オアシス地点の設置はこれからで、すでに設置が行われてデータが得られている砂漠の観測地点（写真1、2）は、敦煌保護研究所内の敷地にあります。10mのポールを設置しました。観測地点から北10km、西1km、南・東0.5km程度の範囲にわたってゴビ（れき砂漠）になっています。ゴビ砂漠は、レキや粘土の率が高く、よく砂漠のイメージとされるような砂丘砂漠とは異なります。

表1に観測項目を示します。ダストを観測するには、視程計を用いています。視程計は、光源から赤外光を発生しその散乱光量から視程を導き出す測器です。その他、基本的な気象

項目を測定しています。測定間隔は 10 秒ですが、30 分間での平均値をメモリーに記録しました。10, 4, 2, 1m の高度で風速、温湿度を測定しておりますので、摩擦速度、粗度長等を計算することができます。

砂漠での観測結果の概略

図 2 に、2001 年 9 月終わりから 5 月終わりまでの期間について、砂漠でのダスト密度指標 (DCI: Dust Concentration Index, ダスト計の出力を規格化した量でダスト濃度の指標)、圧力、温・湿度および風速の変化を示します。何度も DCI 上昇がみられます。大きな DCI の上昇時 (DOY=97,98) の圧力変化を見てみますと、気圧が低下後、気温が下降し、相対湿度が上昇した後に、DCI の上昇が見られています。すなわち寒冷前線の通過とともにダストの発生が見られました。中国北西部から中国海岸部までの寒冷前線の通過は、冬季から春にかけてからよく見られるものです。得られたデータは、寒冷前線の通過がダスト発生を引き起こしているという一般的によく言われている事実をはっきり示しました。

また、DCI は、風速に対応していますが、必ずしもそれだけで説明できるわけではありません (図 2 a,e)。地表面の状況はダスト発生で極めて重要な役割を果たしています。これらについて現在、詳細な解析を行っています。

あとがき・研究の周辺

外国と共同して研究を行う場合、交渉事が極めて重要です。これはとても骨の折れる仕事で、経済的な格差があればなおさらです。これについては、杜が担当しましたが、中国人であっても大変な仕事です。研究を円滑に進めるためには、他の日本側研究グループと連携をとりつつ、バランス感覚をもって対応する必要があります。中国側でもいろいろな立場の人が参加しているのでその間の利害関係もあり、研究資金を渡した場合にどう中国側でお金が行っているかも把握しなければなりません。大変ではありますが、逆にこの難しさを越えることによって研究のオリジナリティが出しやすくなります。

3 月に設置を行った際には、同じ敦煌の観測地点で NASA を中心とするアメリカのグループが ACE-Asia (Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment) プロジェクトの集中観測を行っていました。日本の研究者の場合、交渉、設置、解析すべてを研究者が行うのですが、アメリカの場合システム的に分担関係が明確で、中国出身の研究者や技官の人が設置や測定を行うのに来ていました。また、中国側の研究資金要求額を易々と渡していました。アメリカのグループは根こそぎあらゆる項目を測っていくので競争相手として驚異です。そのため、研究成果の公表を急ぐ必要がありますし、彼らが苦手な側面を突いて研究内容を考える必要があります。アメリカを真似る必要はありませんが、日本での研究制度も国際競争に対応できるように柔軟に整える必要があります。

本プロジェクトは 3 年として計画されていますが、外国での現地観測は交渉事が必要ですので、研究期間がとても短いのですが、農業環境技術研究所グループの研究は観測装置

の設置が順調に行われており、総じて順調であると考えられます。今後、ダストの粒径や数の観測等を含めた集中観測が計画されています。さらに観測事実をもとに、ダスト発生メカニズムを解析しモデル化を行うことを目標としております。

謝辞：本研究トピックの内容は、科学技術振興調整費の「風送ダスト」プロジェクトによって行われており、九州大真木太一氏、農業環境技術研究所川島茂人氏、中国側は、大気物理学研究所、蘭州砂漠研究所、敦煌保護研究所と共同で研究が行われています。

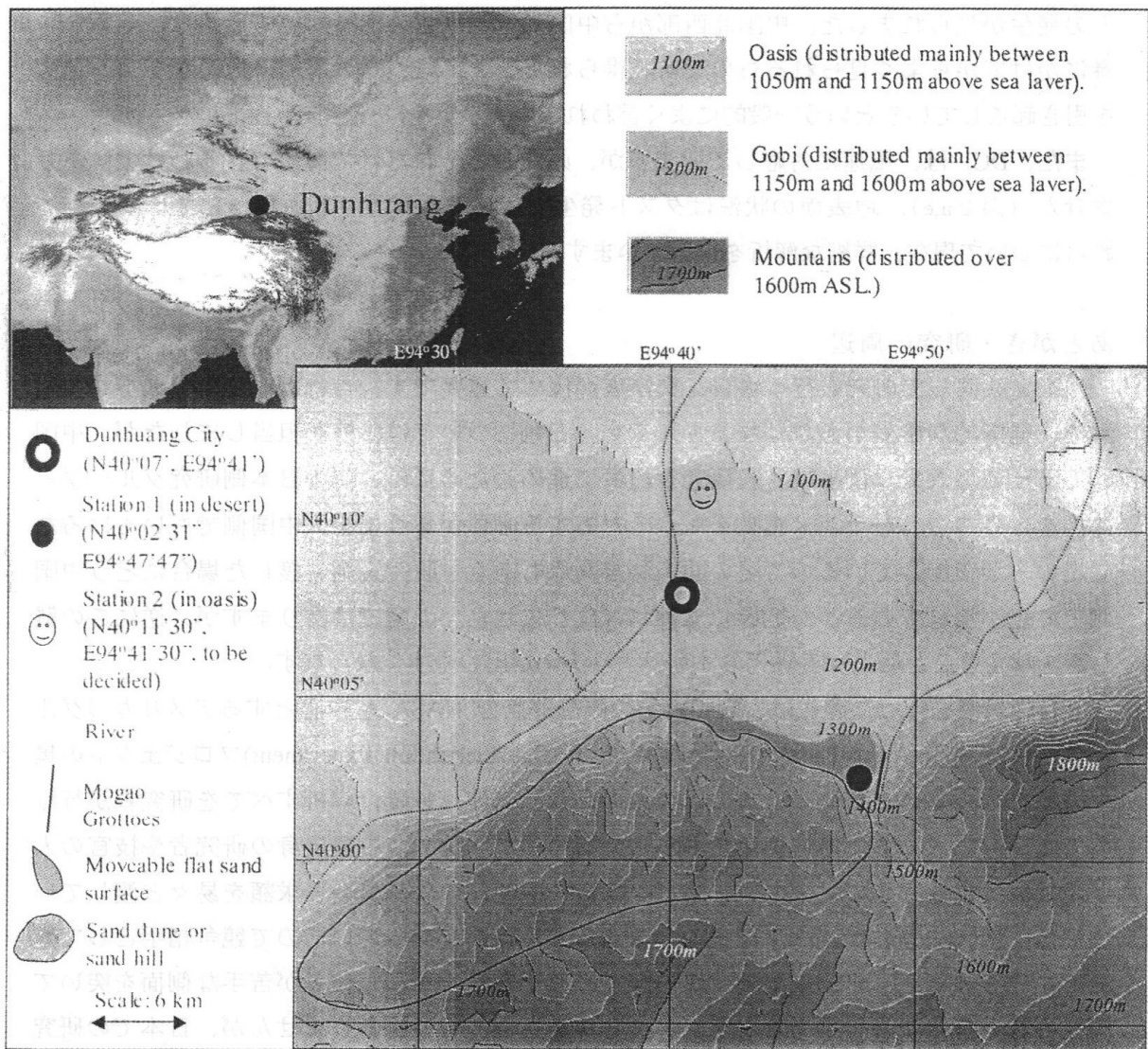


図1 観測地点

表 1 測定項目

項目	設置高度	Instrument
風向	10m	Campbell-Wind set034A
風速	10,4,2,1m	Campbell-014A
相对湿度	10,4,2,1m	Campbell-HMP45C(Vaisalla)
温度	10,4,2,1m	CampbellHMP45C(Vaisalla)
圧力	1.5m	Campbell CS605 (Vaisalla)
土壌水分	2,5, 10cm 深	Campbell CS615
地温	2, 10cm 深	銅コンスタンタン熱電対
短波放射	下向き 4m	Zip and Konen CG3
短波放射	上向き 2m	Zip and Konen CG3
視程	9.2, 3m	Aanderaa



写真1 視程計システム

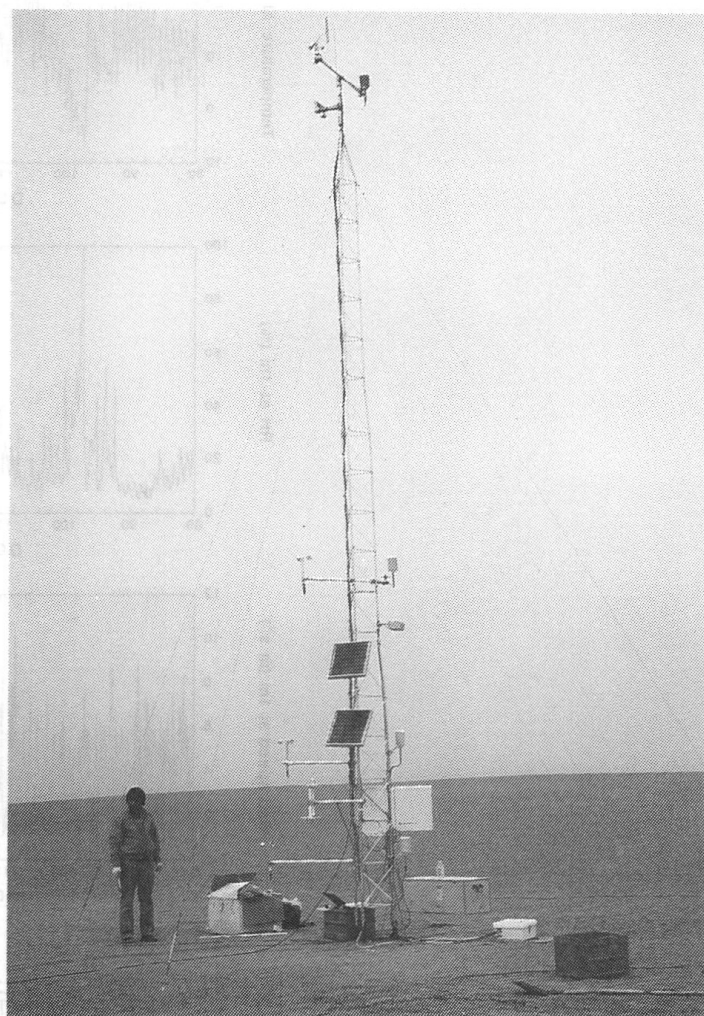


写真2 気象測定システム

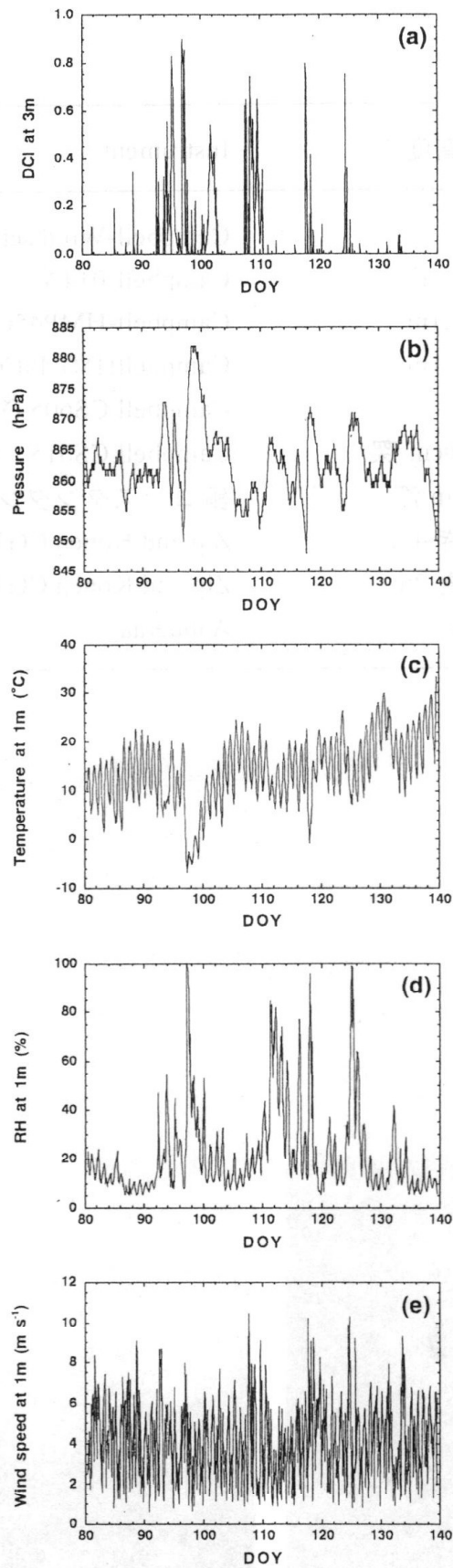


図2 観測結果の時系列

研究トピックス

気候変化とアジアの農耕地の気候資源量

横沢正幸・岡本勝男（農業環境技術研究所・地球環境部・食料生産予測チーム）

1. はじめに

現在、約60億の世界の人口を養う農業生産が利用している資源は次の4つと考えられる。①環境資源（気候条件，土壌条件，水資源など），②生物資源（高い収穫率を持つ植物群，家畜，家禽など），③技術資源（効率的な肥料，農薬，機械，灌漑施設など），④エネルギー資源（電力，化石燃料など）。これらの資源を利用して，約14億ヘクタールの農耕地と33億ヘクタールの放牧地を使用して世界の食糧は生産されている。各地域の農業生産は，そこで元来生育していた有用な植物を選別し，改良を重ねた作物を栽培して行われてきている。したがって，地域の気候・土壌条件といった，環境資源に特に強く依存して作物が栽培されている。

一方，産業革命以降，人間活動に伴う炭酸ガス（CO₂），メタン（CH₄）などの温室効果気体の大気中への放出や，森林伐採などにより，地球の気候システムは目に見える変化を示してきており，今後もその変化はさらに大きくなると予想されている。そして，そのような気候変化が農業生産の場に及ぼす影響が懸念されている。特に人口の多いアジア地域の農耕地においては，将来予想される気候変化によって，作物の栽培に必要な環境資源の分布がどのように変化するかを推定・評価することは重要な課題となっている。

本稿では，アジアの農耕地における気候資源量（気温および降水量など，気候条件からみた農業生産に利用される資源量）の現状と将来の地理的分布を推定し，その変化の特徴を明らかにする研究例を紹介する。

2. 気候資源量の推定

農耕地における作物の栽培に必要な気候資源を表すものとして，ここでは温度資源と水資源に関する次の二つの指標を考える。すなわち温度資源に関する量として月平均気温0度以上の積算気温を用いた。水資源に関する量としては降水量と気象要素（日射量・水蒸気圧・風速など）から推定される潜在（ポテンシャル）蒸発散量との差の積算を採用した。ここでの積算期間は1年とし，作物の栽培期間などは考慮していない。

潜在蒸発散量は，FAOが提案している修正Penman-Monteith式(FAO, 2000)を用いた。このFAO-Penman-Monteith式は仮想的な草地からの蒸発散量を与えるもので，これを基

準として作物による蒸発散量の変化を表現するパラメータが与えられている。

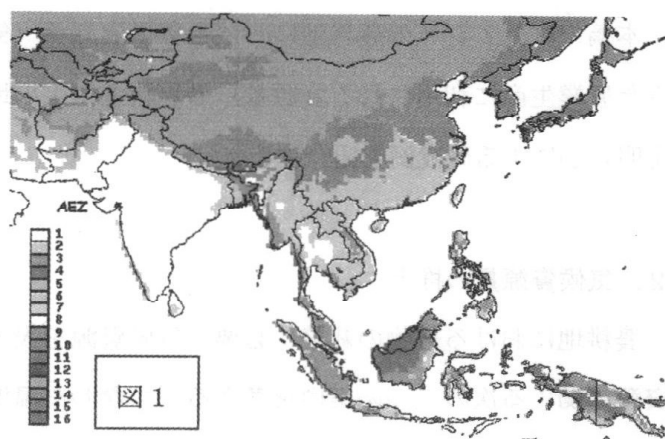
現状の農耕地分布は IGBP-DIS の土地利用・被覆データに基づいた(Loveland and Belward, 1997)。このデータセットは 1992 年～1993 年の NOAA/AVHRR による規格化植生指数 (NDVI) の時系列データを主成分分析して作成されたもので、200 以上の土地被覆分類が含まれる。ここでは、農耕地に分類されるピクセルを $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ のセルに集約し、一つのセルに 5%以上の農耕地面積が含まれるセルを農耕地のセルとして、そこでの気候環境を解析した。

推定に必要な気象データは、気温、降水量、日射量、風速および水蒸気圧である。ここでは、University of East Anglia の Climate Research Unit (New, et al., 1999)が作成した全球 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 解像度のグリッド気象データ (1961 年～1990 年の平均) を用いた。

また、将来予想される気候変化の状況を表現する気候変化シナリオには東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所が開発した大気・海洋大循環モデル(CCSR-GCM)の結果を利用した。この気候変化シナリオは年率 1%で大気中二酸化炭素濃度を漸増させた場合 (IPCC の IS92a シナリオに基づく) の数値実験結果である。一般に大気・海洋大循環モデルの空間分解能は緯度・経度方向に数百 km と低いために、ここでは統計的内挿法を用いて上の CRU-Global Climate Dataset と同じ空間分解能にまでデータを補間した。

3. 気候資源量の分布とその変化

対象とした地域は北緯 50 度から南緯 12 度、東経 66 度から 150 度の領域である。この領域は南アジア、東南アジアおよび東アジアの主要国を含んでいる。図 1 は現在の気候条件における気候資源量の分布を示している。また図 2 は大気中二酸化炭素濃度が現在の約 2 倍になる 2060



年代での気候条件(2060～2069 年の平均)における気候資源量の分布を示している。凡例中の番号(1～16)は図 3 に示すように、有効積算気温(SDD)と降水量・潜在蒸発量差の積算(P-PET)とで定義される気候資源量区分を表している。

区分番号 1～4 には東南アジア、インドなどの低緯度熱帯地域が、6, 7, 10, 11 には日

本、中国、韓国などの中緯度温帯地域が属している。また、縦軸の有効積算気温によって栽培体系は次のようにおおまかに分類される。4000以下：一期作（コムギ・トウモロコシなど）、4000～5800：二期作（イネとコムギなど）、5800～8000：三期作（イネの二期作と他の作物）、8000以上：熱帯作物。

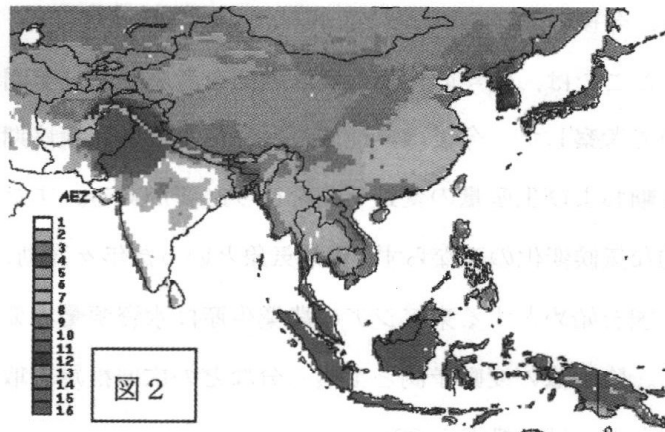
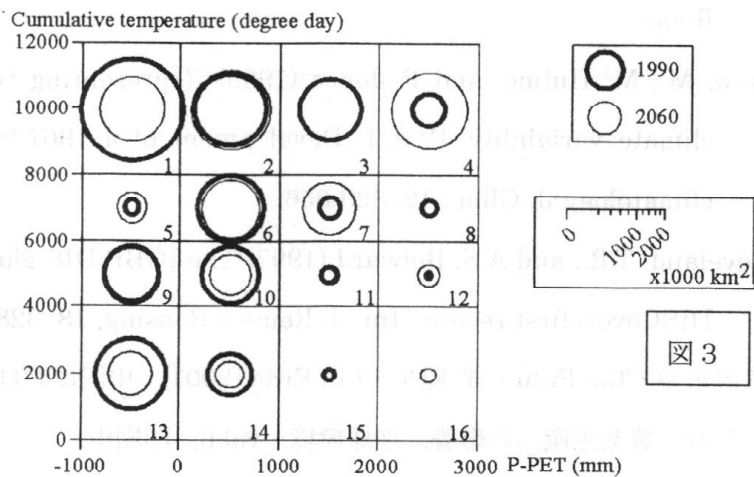
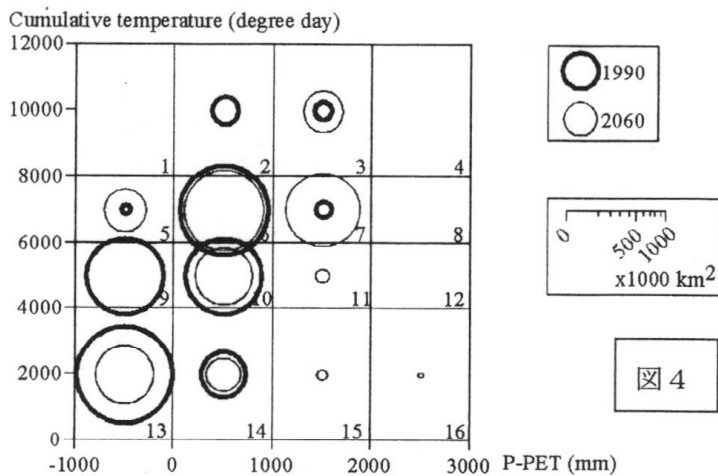


図3には対象領域において現在農耕地として利用されている地域について、1～16の各気候資源量区分に属する農耕地の面積を示している。現在の気候条件における面積と、あわせて2060年代における面積をそれぞれ円の大きさで示している。図よりインドなどの熱帯地域に分布する非常に乾燥

した気候資源量区分1に属する農耕地の面積は減少し、より湿潤な気候資源区分4に属する農耕地の面積が増加すると推定された。図4は中国について集計した結果である。図3と同様に各気候資源



量区分に属する農耕地の面積の変化を表している。中国全体として降水量の増加により湿潤な気候資源区分3、7の面積が増加するが、主要なコムギ生産地帯である華北平原を中心として高温で乾燥した気候資源量区分5に属する地域が増加すると推定された。



4. 今後の展望

ここでは、個々の作物の栽培期間を考慮せず、年間の気候資源量の分布とその変化について考察した。今後は、地域ごと、作物ごとに栽培期間を考慮した資源量を推定し、その変動および生産量の変動予測を行う必要がある。また、気候変化の影響評価にはその平均的な気候変化のみならず、異常気象といった年々変動の影響評価も重要である。とりわけ、中国を始めとする東アジアの農業生産は水資源量の変化に強く影響されると考えられている。降水量の変動予測と土壌水分などの広域推定を取り入れた総合的な評価が必要である（たとえば、横沢ら 2001）。

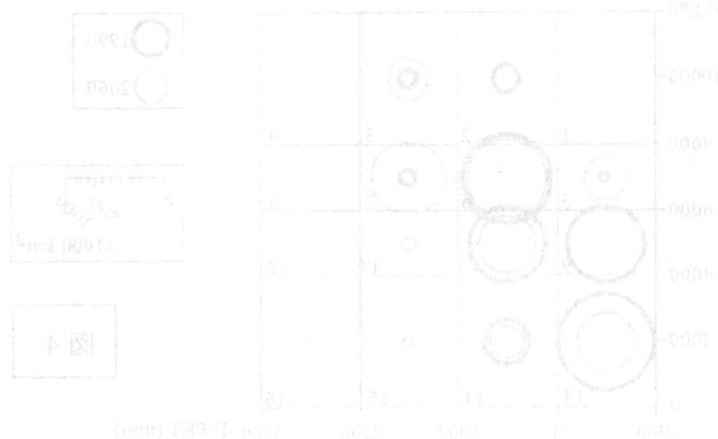
引用文献

FAO (1992) CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage paper 46, Land and Water Development Division, Rome.

New, M., M. Hulme, and P. Jones (1999) Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Clim.*, 12, 829-856.

Loveland, T.R., and A.S. Belward (1997) The IGBP-DIS global 1km land cover data set, DISCover: first results. *Int. J. Remote Sensing*, 18, 3289-3295.

横沢正幸・Tao Fulu・林陽生・Lin Erda (2001): 中国における農耕地の土壌水分環境の変動と農業生産への影響, 地球環境, vol.6, 印刷中.



施設紹介

筑波大学陸域環境研究センター

Terrestrial Environment Research Center

陸域環境研究センター 新村典子・李 載錫・浅沼 順

1. はじめに

陸域環境研究センターは平成12年4月に、それまでの水理実験センターを改組拡充することにより発足しました。旧センターでは、大型流水実験施設や熱収支・水収支実験施設等を用いた教育・研究を推進してきましたが、改組後は従来の活動に加え、土壌・植生と大気の間で行われている水や二酸化炭素などの物質交換および相互作用に関する観測、解析、モデルを中心とした研究を行っていくことを目的としています。現在のセンターの定員は、教官5名、技術官1名、ポスドク3名ですが、この他に学内の地球科学系や生物系や学外などの研究者による定常的な研究活動が行われています。ここでは主に、センターが所有する水収支・熱収支観測圃場と、生態学関連の研究活動をご紹介します。

2. 水収支・熱収支観測システム

当センターには、地表面における水と熱のエネルギー交換の諸過程を長期連続観測によって明らかにするための観測圃場があります。観測圃場は、北緯 $36^{\circ}06'35''$ ，東経 $140^{\circ}06'00''$ ，標高27.0mに位置し、直径160mの円形です。観測当初、地表面は多年生のライグラスを主とする牧草でしたが、現在はヨモギ、ススキ、セイタカアワダチソウなど多種の雑草が混在する草原となっています。圃場内の植生を均一に保つための草刈りを毎年冬に行っています。図1は、5月頃の観測圃場の様子を示したものです。写真の手前にみえる2棟の温室では、温暖化環境における植物の成長実験が行われています(詳細は次の章をご覧ください)。圃場内には、本観測システムのための各種諸測器が配置され、測定値は研究棟のデータ収録室で記録・収録されています。観測項目等に関しましては、杉田(1992)をご参照下さい。得られたデータは資料集として刊行するとともに、ホームページ上でも公開しています(<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/>)。利用申請をしていただければ、どな

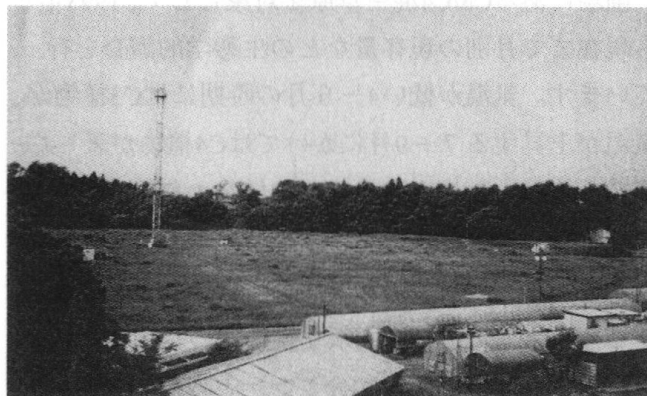


図1 5月頃の圃場の様子(研究棟屋上より撮影)(陸域環境研究センターパンフレットより)

たでもご利用になれます。

これらのデータの一部は、「現在の気象・水文測定値」(一分ごとに更新)として、ホームページ上で公開しています。また、一昨日・昨日の時系列図もホームページ上で見るができるようにしたいと考えています。

またこれに加え、2001年2月より長波短波放射計を上下に設置し4成分の放射量を独立に観測しています(4成分放射計)。これまで正味放射量の観測は正味放射計によって行っておりましたが、今後は各放射量の正味放射への影響量の定量化など、より詳細な知見が得られると期待しています。

さて、現在センターでは、長期利用者の方によって次のような観測も行われています。

圃場に隣接するアカマツ林において森林における水循環(特に蒸散)を明らかにするための連続観測、また、草地の動態の年々変動をリモートセンシングの立場から把握するため、上下短波放射計、上下可視光領域波長の放射計、地表面温度、土壌水分計を設置しての連続観測が行われています(樋口ほか、2000)。

この圃場では、以上のように自分の測器を持ち込み連続観測を行うことも可能です。ぜひご相談下さい。

3. 生態学関連の観測・研究活動

①野外での植生動態の継続観察と、微気象学的手法に基づく生態系-大気間のCO₂・水交換過程の長期連続観測

圃場にあるC3/C4混生草原を対象として、1993年から現在まで月別の現存量などの生態学的調査を行っています。気温が低い4-6月の時期にはC3植物が、気温が上昇する7-9月にかけてはC4植物が著しく成長、といった光合成タイプの植物の気温に対する成長応答の差が群落の優占度を変えて行くことが明らかになっています。また、微気象学的手法に基づく草原-大気間のCO₂・水交換過程の長期連続観測を行って、時々刻々(30分ごと)と変わる草原-大気間のCO₂・水交換過程を計測しています。この観測で得られた植物の重要な生理生態特性と日射、気温、風速、湿度などの微気象因子との関係を解析しています。

②自然気象リズム下で温暖化環境が再現可能な温度勾配型温室(TGC)とCO₂・温度勾配型温室(CTGC)を用いた植物の成長実験

TGC(昇温)とCTGC(昇温+CO₂付加)を用いて、草本のC3植物とC4植物、樹木の稚樹を用いて成長実験を行っています。温暖化は一般に春の成長開始時期を早め一時的に成長を促進しますが、夏は高温になり過ぎるため成長は抑制されることが明らかとなりました。しかし、昇温だけではなく光合成

の基質であるCO₂も付加すると、夏の高温による成長抑制は大幅に緩和されることも明らかになっています(図2)。また、草本に対するCO₂付加の効果はC4植物よりはC3植物で顕著でありました。

③将来の温暖化した環境下で植物生産力がどのように変化するかを、コンピュータモデリング手法を用いてシミュレーション予測

先に述べた成長実験や既存の研究から得られた各種植物の生理生態特性と環境条件との関係を組み入れた生態系モデルを作り、世界の陸域生態系の植物生産力や生物量の再現をしたいと考えています。

4. おわりに

以上のようなセンター所有の施設を用いた研究に加え、本センターは、IGBPやGAME(GEWEX Asia Monsoon Experiment)などの国際プロジェクトに参加、あるいは主催しています。特にアジア地域において、自動気象観測を用いて熱・水収支のモニタリングを行うことを目的としたGAME-AAN(Asian AWS Network)を中心となって推進してきました。また今後は、文部科学省総合地球環境学研究所などとの、他大学や他県救助との連携プロジェクトなど、国内あるいは国際的なプロジェクト型研究を通じて、地球環境研究の一端を担っていく予定です。

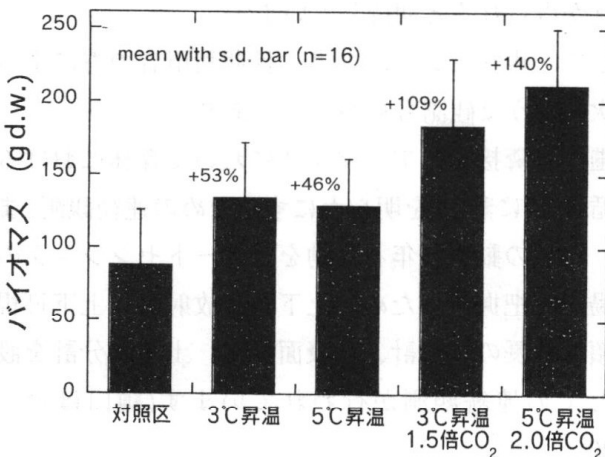


図2 TGCとCTGCで育てたシラカシ(ブナ科の常緑広葉樹)稚樹の1年間の成長結果

参考文献:

杉田倫明, 1992: 天気, 39, 41-42.
樋口篤志・西田顕郎・飯田真一・新村典子・近藤昭彦, 2000: 日本水文科学会誌, 30, 81-91.

連絡先: 〒305-8577 つくば市天王台1-1-1
筑波大学 陸域環境研究センター
電話: 0298-53-2532 (事務室)
FAX: 0298-53-2530

ホームページアドレス: <http://www.suiri.tsukuba.ac.jp>
e-mail アドレス: jimu@erc2.suiri.tsukuba.ac.jp

日本農業気象学会関東支部 2001 年度例会開催のご案内

1. 日時：2001 年 11 月 16 日（金） 10 時 25 分より
（開始時刻は当初 11 時とになっていましたが 10 時 25 分に変更になりました。）
2. 会場：東京農業大学世田谷キャンパス 1 号館 408 号室
（世田谷区桜ヶ丘 1-1-1）
3. 日程及び内容

10:30 ~ 12:00 一般講演（一課題につき発表 12 分、質疑応答 3 分）

- (1) ENTRON（生態系エントロピー生成量測定用チャンバー）の試作
○合田陽一*・蔵田憲次*・関 平和**（*東京大院・**金沢大）
- (2) 温室のパッドアンドファン冷房システムについて
○趙 淑梅・山口智治（筑波大）
- (3) 明暗周期（= 明期 + 暗期）が 16 - 40 時間の場合における暗期がハウレンソウの抽だいに及ぼす影響
○阿南純一・全 永厚・古在豊樹（千葉大）
- (4) 植物情報による節水灌漑水量の評価法
○関山哲雄・渡邊文雄・田島 淳・高橋 悟（東京農大）
- (5) サーモトレーサーを用いた水稻の群落表面温度の測定並びに葉色と葉温の関係
脇山恭行（中央農研センター）
- (6) C3 / C4 混生草原における各種フラックスと群落表面温度の特徴
○下田星児・及川武久（筑波大）

12:00 ~ 13:00 昼食、評議員会・理事会

13:00 ~ 14:30 一般講演

- (7) アグロフォレストリーの設計に関する基礎的研究
○富沢彰之・渡邊文雄・田島 淳・高橋 悟（東京農大）
- (8) 温暖化傾向が果樹の休眠・覚醒作用に及ぼす影響調査
○岡村和之・関山哲雄（東京農大）
- (9) 近年の高温に伴う水稻の生育前進について
高橋行継（群馬県農試）
- (10) 国内主要河川への温暖化の影響
○井上 聡*・横山宏太郎**・大野宏之*・川島茂人*
（*農環研・**中央農研北陸センター）
- (11) 地上到達 B 領域紫外線のメッシュ図作成
○山本雄介・今 久・松岡延浩（千葉大）
- (12) 高山帯における B 領域紫外線の特性について
○岡野通明*・青島史子*・今 久**・鈴木 純***・吉武 孝*
（*森林総研・**千葉大・***信州大）

14:30 ~ 15:15 総会

15:15 ~ 17:15 シンポジウム『乾燥地の緑化とアグロフォレストリー』

- (1) ジブティにおけるアグロフォレストリーの可能性
東京農業大学 高橋 悟 氏
- (2) ジブティにおける緑の現状と緑化技術
東京農業大学 福永 健司 氏
- (3) 農耕地の気候緩和に関する予測法と体感表示による指標化
中央農業総合研究センター 井上 君夫 氏

17:30 ~ 懇親会

4. 参加費用

一般講演、シンポジウム：

会員 (一般) 1,500 円 (学生) 1,000 円
非会員 (一般) 2,000 円 (学生) 1,500 円

懇親会費：4,000 円

5. 会場への交通

小田急線利用：経堂駅下車、徒歩約 15 分。

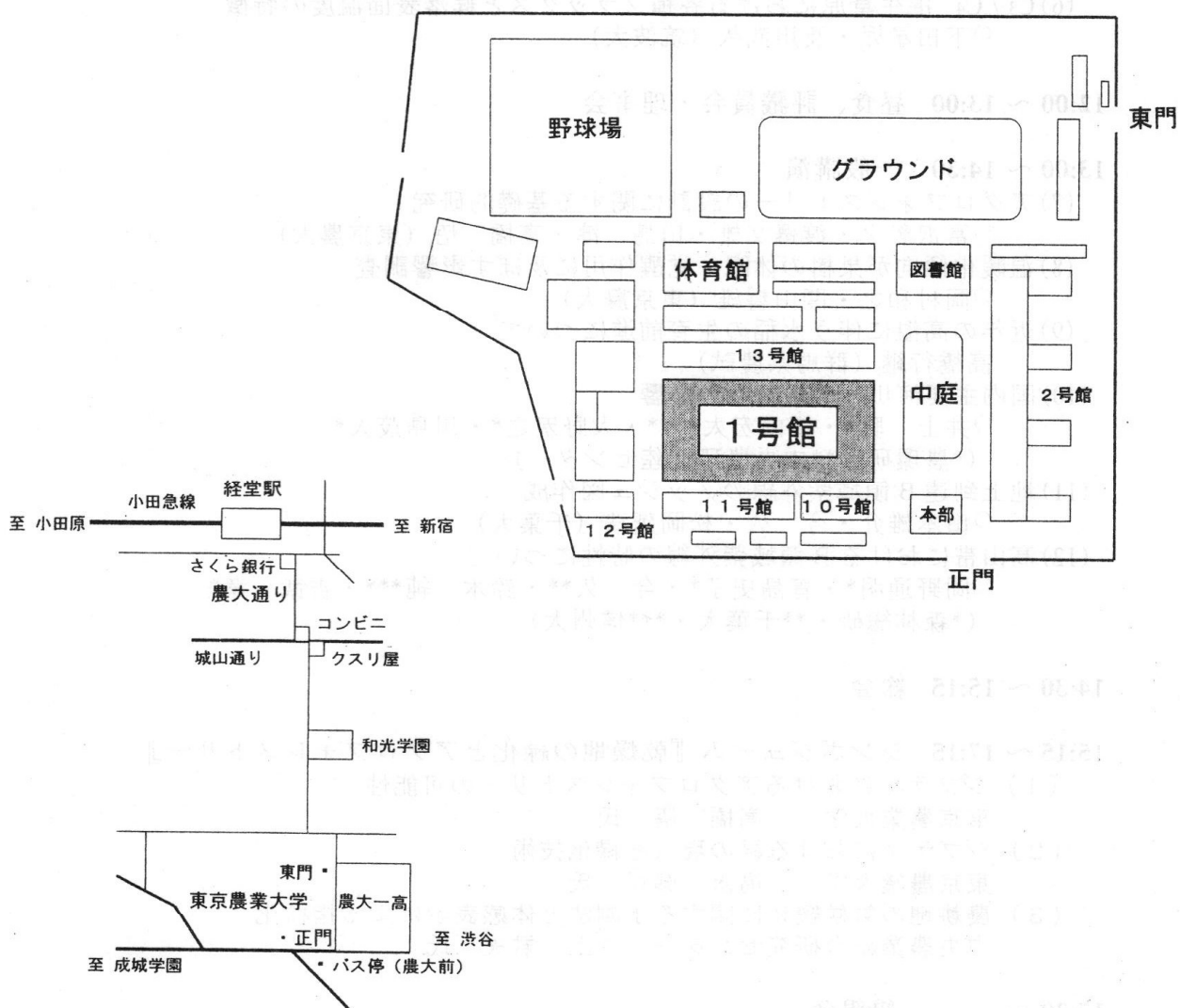
渋谷駅からのバスを利用：渋谷駅から渋谷 24 系統バスで成城学園駅行きに乗車、農大前下車、約 30 分。(雨天時は道路混雑によりさらに 15-20 分かかる場合があります)

6. 問い合わせ先

農業技術研究機構 中央農業総合研究センター
耕地環境部 気象立地研究室 脇山 恭行 (関東支部事務局)
〒305-8666 つくば市観音台 3-1-1

TEL.0298-38-8418 FAX.0298-38-8515 E-mail waki@narc.affrc.go.jp

7. 東京農業大学構内図



ENTRON (生態系エントロピー生成量測定用チャンバー) の試作

合田陽一¹・蔵田憲次¹・関平和²

(¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科・² 金沢大学工学部)

1. はじめに

熱力学にはエネルギー保存の法則である第1法則と、エントロピーの法則である第2法則がある。エネルギー概念の生態系への適用は歴史も古くこれまで広く行われてきたが、エントロピーの観点からの生態系の研究はほとんどない。しかし、生態系のエントロピー生成量は生態系の構造を示す何らかの指標になる可能性がある。そこで著者らは、生態系のエントロピー生成量の実測の測定を行うための第一歩として、解析の容易なチャンバー、ENTRONを試作した。

2. 系のエントロピー収支に関する理論的検討

顕熱、放射、物質の出入りがある空間の中にある生態系を考える。空間中の生態系のエントロピー蓄積速度に関して次式(1)が成り立つ。

$$\frac{d(V \sum_k X_k S_{ak} + \alpha m_g S_g + m_w S_w)}{dt} = v_{ain} \sum_k X_{ink} S_{aink} - v_{aou} \sum_k X_{ouk} S_{aouk} + A(J_{ss} + J_{sl}) - \frac{Q}{T} + \sigma V \quad (1)$$

$V(\text{m}^3)$: チャンバー容積

$X_k(\text{mol}/\text{m}^3)$: チャンバー内ガス k のモル密度 ($k = \text{N}_2, \text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$)

$S_{ak}(\text{kJ}/\text{molK})$: チャンバー内ガス k のモルエントロピー

α : 比例定数 (グルコースのエントロピーと植物体を構成する合成産物のエントロピーが比例すると仮定した場合)

$m_g(\text{mol})$: グルコースのモル数

$S_g(\text{kJ}/\text{molK})$: グルコースのモルエントロピー

$m_w(\text{mol})$: 水槽内の水のモル数 (植物を養液栽培する場合)

$S_w(\text{kJ}/\text{molK})$: 水槽内の水のモルエントロピー

$X_{ink}(\text{mol}/\text{m}^3)$: チャンバーへの流入ガス k のモル密度

$v_{ain}(\text{m}^3/\text{s})$: 流入ガス流量

$S_{aink}(\text{kJ}/\text{molK})$: チャンバーへの流入ガス k のモルエントロピー

$X_{ouk}(\text{mol}/\text{m}^3)$: チャンバーからの流出ガス k のモル密度

$v_{aou}(\text{m}^3/\text{s})$: 流出ガス流量

$S_{aouk}(\text{kJ}/\text{molK})$: チャンバーからの流出ガス k のモルエントロピー

$A(\text{m}^2)$: 光源の面積

$J_{ss}(\text{kW}/\text{Km}^2)$: 光源からの短波放射によるエントロピーフラックス (単位面積、単位時間当りのエントロピー流量)

$J_{sl}(\text{kW}/\text{Km}^2)$: 光源からの長波放射および顕熱によるエントロピーフラックス (単位面積、単位時間当りのエントロピー流量)

$Q(\text{kJ})$: チャンバーの境界面から外部に流出する熱量

$T(\text{K})$: チャンバーの境界面温度

σ (kJ/Km³): 単位容積当りのエントロピー生成速度

ここで、式(1)において左辺は系内のエントロピー蓄積速度、右辺第1項はガス流入に伴うエントロピー流入速度、第2項はガス流出に伴うエントロピー流出速度、第3項は光源からのエントロピー流入速度、第4項は放熱に伴うエントロピー流出速度、第5項はエントロピー生成速度を示す。

以上から、系内のエントロピー生成速度 σV は次式(2)で与えられる。

$$\sigma V = V \frac{d(\sum_k X_k S_{ak})}{dt} + \alpha S_g \frac{dm_g}{dt} + \frac{d(m_w S_w)}{dt} - v_{ain} \sum_k X_{ink} S_{aink} + v_{aou} \sum_k X_{ouk} S_{aouk} - A(J_{ss} + J_{sl}) + \frac{Q}{T} \quad (2)$$

3. ENTRON (生態系エントロピー生成量測定用チャンバー)

ENTRON は、式(2)を用いて人工生態系の熱力学的エントロピー生成量の測定を目的とした 125L チャンバーで、チャンバー部、計測部、その他から構成される。チャンバー部 (側面図を図1、図2に示す) は、高反射率アルミ板を備えた断熱パネル製のチャンバー (小糸工業)、太陽光の約 1/10 の放射照度を有する LED 光源ユニット (小糸工業、KLX-L)、換気回数が約 10 回/h の通気装置 (榎本マイクロポンプ、MX-808W) を備えている。計測部 (演算項目とその使用センサを表1に示す) は、チャンバー内部の熱電対温度センサ (石川産業、PP-T-245)、小型光量子センサ (小糸工業、IKS-27-10)、デジタルスケール (SHIMADZU、BL3200S)、チャンバー内外への通気口の温湿度センサ (ロトロニック、ハイグロクリップC)、マスフローメータ (山武、CMS0020B-PN00000)、赤外線 CO₂ モニタ (富士電機、ZRH) のセンサ類、そして 30ch データ集録ステーション (横川電機、DAQSTATION DX230) から構成される。またその他の機器として、カラー CCD カメラ (松下通信工業、GP-CX161/15) およびモニタ (松下通信工業、GWV-CM1020) が装備されている。

表1 演算項目とその使用センサ

センサ類	演算項目
熱電対温度センサ	J_{sl}, Q, T
小型光量子センサ	J_{ss}
デジタルスケール	m_g, m_w
温湿度センサ	X_{ink}, X_{ouk}, X_k
マスフローメータ	v_{ain}, v_{aou}
赤外線 CO ₂ モニタ	X_{ink}, X_{ouk}, X_k

図1 チャンバー部側面図A

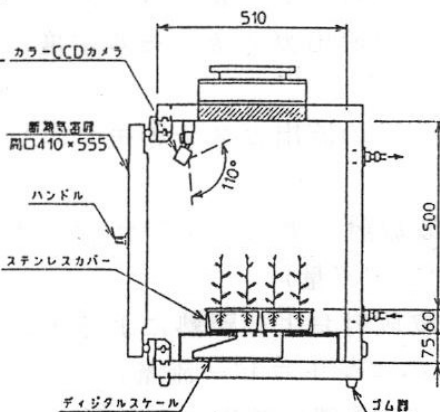
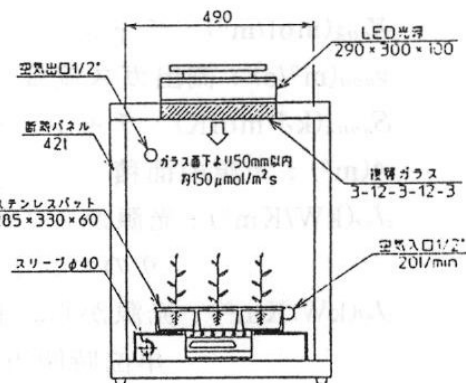


図2 チャンバー部側面図B



温室のバッドアンドファン冷房システムについて

—中国と日本の運転事例—

○趙 淑梅 (筑波大学生命環境科学研究科)

山口智治 (筑波大学農林工学系)

1. はじめに

バッドアンドファンシステムは、農業施設の冷房方式として1980年代に中国に導入され、その後の農業施設の急速な発展に伴って、豚舎、鶏舎、温室における主要な冷房方式とされてきた。とくに、1990年代後半から中国では大型連棟温室が多数建設されてきており(約5,000 ha)、現在、その内の約300 haの花弁温室にこの冷房システムが付設されているといわれる。他方、日本では1960年代に本システムが研究・導入されたが、大きく進展せず、現在、育苗・花弁温室で約20 ha程度の普及とされている。この間、導入当初の耐久性や通気性に問題のある木毛等の材料から、現在では波形セルロース材を用いたバッドが製造・利用されてきている。

ここでは、中国と日本の異なる気候条件下で、大型温室に導入されたバッドアンドファンシステムの現在の運転状況と冷房効果について実験調査した結果を報告する。

2. 実験方法

2001年7月及び8月の数日間ずつ、北京市と上海市郊外及び愛知県渥美町の温室において、バッドアンドファン冷房システム運転中の内外環境を測定した。実験温室の概要を表1に示す。

表1 実験温室の概要

温室名称	北京温室	上海温室	愛知温室
建設場所	順義県三高農業師範区 39° 56' N, 116° 17' E	孫橋農業開発区 31° 10' N, 121° 26' E	渥美町農家 34° 40' N, 137° 00' E
構造形式	フェンロー型13連棟 (硬質プラスチック)	フェンロー型8連棟 (ガラス)	両屋根型2連棟 (ガラス)
温室面積	2,000 m ²	1,500 m ²	1,200 m ²
バッドからファンまでの距離	48m	44.8m	55m
バッド寸法(長さ×高さ×厚さ)	41.6×1.8×0.1m	32×1.5×0.1m	21×1.8×0.12m
バッド利用期間	4年目	10カ月目	6年目
ファン換気量(公称能力)	40,000 m ³ /h×15台	45,000 m ³ /h×8台	27,600 m ³ /h×8台
冷房制御方式	自動/手動	手動	自動/手動
遮光方式	室外遮光	室内遮光	室外遮光
栽培植物	胡蝶蘭	ナス	アンスリウム
実験時の天候条件	7/25 晴, 夜雨 7/26 快晴 7/27 小雨, 曇り	7/30 晴 7/31 晴 8/1 雨 8/2 晴	8/23 快晴 8/24 晴/曇り 8/25 晴

測定項目は、室内外日射量(全天日射計)、バッド表面温度・水温・室内外気温(T-熱電対)、室内外湿度(静電容量式センサー)、室内及びファン風速(熱線風速計)であり、室内温・湿度センサーはそれぞれ植被層上部(1.3~1.8m)に設置し、データロガーに10分間隔で計測・記録した。

3. 実験結果

全ての測定温室は、冷房システムとともに室外あるいは室内遮光カーテンが併用されていた。全天日射計測による各温室の平均遮光率(室内日射量/室外日射量)は、北京85%、上海80%、愛知82%であった。

測定期間中の昼間室外の最低相対湿度は、北京 32%、上海 59%、愛知 58%RH であり、冷房中の室内最低相対湿度は、各々、76%、78%、83%RH であった。

上海温室における室内外気温の推移を図 1 に示す。また、北京、上海、愛知各温室の昼間冷房中における各部温度状況は表 2 の通りであった。

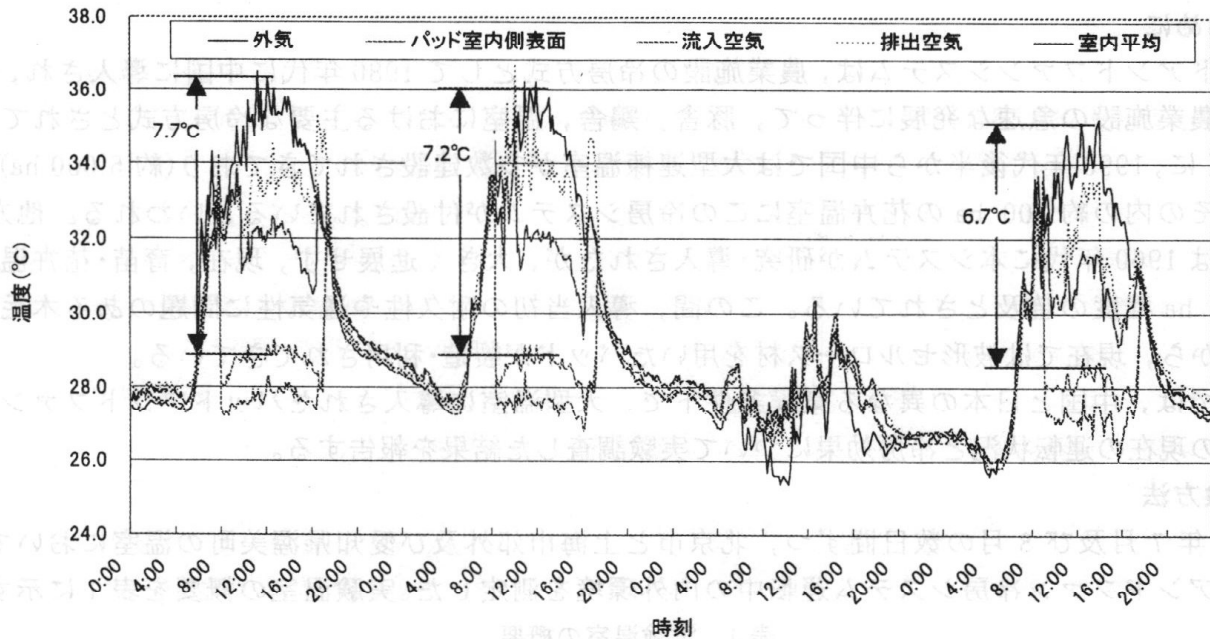


図 1 上海温室内外温度変化(2001.7.30-8.2)

表 2 冷房中における各部温度状況

温室名称	温度 類別	各部計測点及び室内平均 温度(°C)				推算項目		
		外 気	流入 空気	排 気	室内 平均	流入空気冷 却度(°C)	室内空気冷 却度(°C)	パッド・ファン間昇温度 (°C)
北京温室	最高	33.8	27.1	29.4	29.5	12.6	10.0	5.6
	平均	28.9	23.0	25.7	25.3	5.9	3.6	2.7
上海温室	最高	36.5	29.3	36.7	34.6	7.7	4.1	6.9
	平均	34.2	28.4	32.8	31.5	5.8	2.7	4.4
愛知温室	最高	31.5	26.7	29.9	28.7	6.7	4.2	4.0
	平均	28.5	24.8	27.5	26.6	3.7	1.9	2.7

気候条件によって、温室におけるパッドアンドファン冷房効果が異なることが認められた。比較的乾燥した地域の北京市温室での冷却効果が著しく、室内空気の冷却度は、平均 3.6°C、最大では 10°C に達し、高温湿潤地域にある上海では、冷却効果は低下したが、平均 2.7°C、最大 4.1°C であった。一方、日本の愛知温室では、快晴の 8 月 23 日の冷却度は上海とほぼ同じ、平均 2.7°C、最大 4.2°C であり、外気湿度 82%RH 以上の 8 月 24 日の室内冷却度は平均 1.0°C、最大 1.5°C であった。この 2 日間の平均冷却度は表 2 に示す通り、1.9°C であった。

愛知県の実験では、冷房温室に隣接する形状寸法が同一の自然換気温室における室内温湿度を同時計測した。日中の冷房室内気温は、自然換気室より平均 1.8°C、最大 3.2°C 低く推移した。今後、更に詳細な計測を行い、効率的な温室冷房システムの検討を行う。

明暗周期 (= 明期 + 暗期) が 16-40 時間の場合における暗期が
ハウレンソウの抽だいに及ぼす影響

○阿南純一・全昶厚・古在豊樹 (千葉大学自然科学研究科)

はじめに 植物の光周性についての研究 (Garner and Allard, 1920) 以来, 明期, 暗期および明暗周期などが植物の生育に及ぼす影響について研究されてきた。江口および市川 (1940) によると, 明暗周期が 24 h の場合, ある長さ以上の明期 (または, ある長さ以下の暗期) においてハウレンソウは抽だりする。一般に抽だいは, 花芽をもった茎 (以下, 花茎) の伸長と定義される。最近, Anan et al. (投稿中) は, 明期が 8 h の場合に, 明期に続く暗期が 16 h の条件下では抽だいないが, 明期に続く暗期が 4 h の条件下では抽だいすることを示した。この実験では, 暗期が 2 水準だけであったために, 量的な暗期の違いが花茎長に及ぼす影響は明らかではない。明暗周期が 24 h の条件下では, ハウレンソウが抽だりする条件は, 花芽発達指数が大となる条件と同じである。しかし, この抽だいおよび花芽の発達, 別の現象であると考えられており (Metzger and Zeevaart, 1985), 明暗周期が 24 h と異なる条件下においてもこの説を適用できるのかは明らかではない。本実験では, 暗期がハウレンソウの花茎長および花芽発達指数に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そして, 明期を固定してその明期に続く暗期を変化させた条件下においてハウレンソウを生育させ, 暗期が花茎長および花芽発達指数に及ぼす影響を調査した。

材料および方法 植物材料にはハウレンソウ (*Spinacia oleracea* L. cv. Dimple, サカタのタネ (株)) を用いた。育成用の容器には角セルトレイ (容量 53 ml per cell, 6×6 穴, 日新農工産業 (株)) を用いた。この容器にセル成型苗用養土 (ナプラ養土, ヤンマー農機 (株)) を充填し, 播種した。気温 23℃ および相対湿度 65% に設定したグロースチャンバ (FR-9108A 特殊型, 小糸工業 (株)) 内において 30 日間育成した。光源は白色蛍光灯 (FHT42EX-W, 三菱電機オスラム (株)) とした。試験区として, 明期を 12 h としそれに続く暗期を 4, 8, 12, 16, 20, 24 および 28 h とした 7 区, 明期を 10 h としそれに続く暗期を 8, 12, 14, 16 および 20 h とした 5 区, 明期を 8 h としそれに続く暗期を 8, 12, 16 および 20 h とした 4 区, ならびに実験開始から終了まで連続明期とした 1 区を設けた。セルトレイ上面における光合成有効光量子束 (以下, PPF) の実験期間中の積算値が一定 (207 mol m^{-2}) となるように各区の PPF を調節した。PPF の設定値は, 明期が 12 h の区では, 暗期の短い区から 135, 165, 200, 230, 260, 300 および 335, 明期が 10 h の区では, 暗期の短い区から 180, 218, 240, 257 および 300, ならびに明期が 8 h の区では, 暗期の短い区から 200, 250, 300 および $346 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした。連続明期の区では $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした。1 または 2 回の明暗周期ごとに, 濃縮養液 (ハイテンポ液 (Ar:Cu=1:3), 住友化学 (株)) を希釈した液肥を与えた。液肥の電気伝導度および pH をそれぞれ 80 mS m^{-1} および 6.5 に調節した。播種後 30 日目において, 試験区ごとに無作為に 30 個体を抽出して花茎長および花芽発達指数を測定した。花茎長は, 子葉基部から花芽頂部までの長さとした。花芽発達指数は, 江口および市川 (1940) ならびに Anan et al. (投稿中) に準拠した花芽の各発達段階 (未分化期, 分化初期, 花房分化期, 花房形成期および開花期) にそれぞれ割り当てた指数 (0, 1, 2, 3 および 4) とした。実験の反復数は 2 とした。

結果および考察 花茎長は、連続明期の区において最も大であった (Fig. 1(a))。明期が 8, 10 および 12 h の場合、暗期が 8 h 以下の区における花茎長は、暗期が 12 h 以上の区のそれと比べて大であった。また、どの明期の場合も、暗期が 12 h 以上の区において花茎長に差はなかった。

明期が 12 h の場合、暗期が 12 h より短い条件では暗期が短くなるほど花茎長が大となることが示された。どの明期の場合も、暗期が 12-28 h (または 12-20 h) の条件では花茎長は 3-9 mm となるにとどまった。他方、暗期が 8 h の場合、明期が 8, 10 および 12 h と長くなるほど花茎長は大であった。このことから、ホウレンソウの花茎の伸長には暗期だけではなく明期も影響すると思われる。明期が 8 および 10 h の場合、花茎の伸長に明期が影響しているのかをより明らかにするためには、暗期が 4 h の条件を調査することが重要であり、現在実験中である。

花芽発達指数は、連続明期の区において最も大であった (Fig. 1(b))。明期が 12 h の場合、暗期が 8 h 以下の区における花芽発達指数は、暗期が 12 h 以上の区におけるそれと比べて大であった。明期が 8 h および 10 h の場合、花芽発達指数に差はなかった。

花茎長および花芽発達指数の結果から、はじめに述べた Metzger and Zeevaart (1985) の説は、24 h を含む明暗周期が 16-40 h の条件下においても適用されることが示された。

結論 今回の実験から、明暗周期が 16-40 h の場合において、明期が 12 h の条件下では、暗期が 12 h より短くなると抽だいすること、花芽の発達が進むことが示された。他方、ホウレンソウの抽だいには暗期だけではなく、明期も影響することが示唆された。

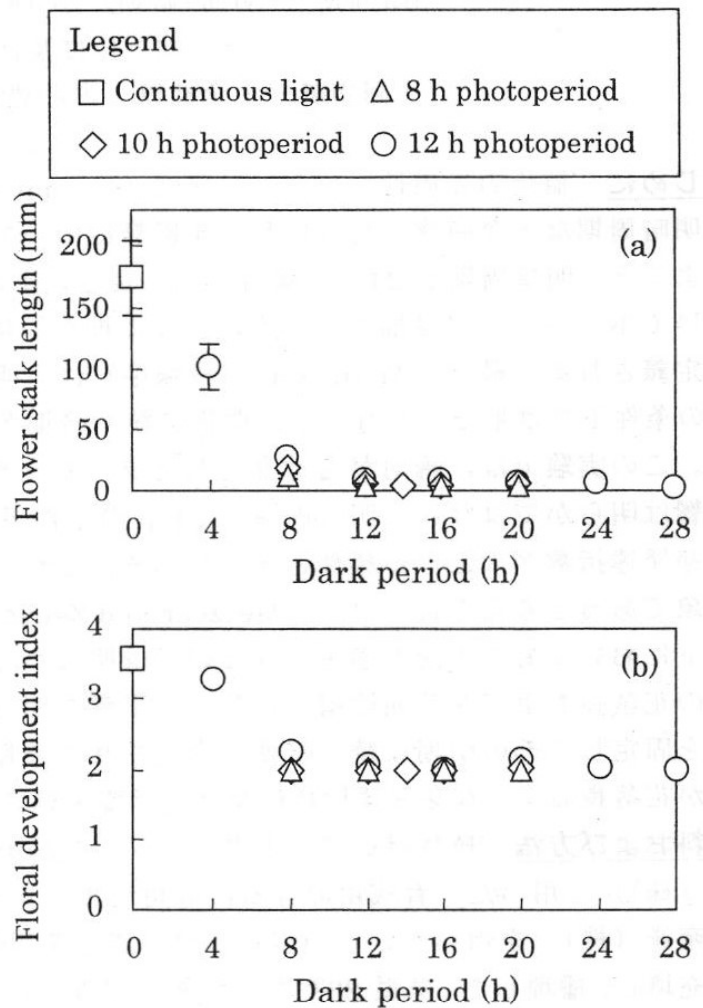


Fig. 1 Effect of dark period on (a) flower stalk length and (b) floral development index of *Spinacia oleracea* L. under continuous light (□), 12 h (○), 10 h (◇) and 8 h (△) photoperiod 30 days after sowing. Thirty plants from each replication were sampled. Number of replications was two. Bars mean standard error.

植物情報による節水灌漑水量の評価法

○ 関山哲雄・渡邊文雄・田島淳・高橋悟（東京農業大学）

1. はじめに

節水灌漑には、植物根圏の有効水分量の把握がまず必要である。そのために各種の土壤水分計が使用されているが、乾燥地に多く見られる砂あるいはれきなどを主体とする土壤相においては、土壤水分の分布は大きいため土壤水分計による的確な計測は困難と言える。

そこで、土壤中の水分を求めて伸長している根、蒸散を司っている葉そして葉への水の供給源となる幹（茎）からなる植物そのものを水分センサーに見立て、水分ストレスによる幹の膨縮を計測し、水分に関する植物情報として利用する方法について検討した。幹または茎の膨縮の計測およびその結果により灌漑するなどの研究には、二の方（1959）、Klepper（1971）、長野（1976）および岩尾（1978）などがあるが、まだ解明すべきことが残されている。

乾燥地帯での緑化・食料生産においては、極度な節水灌漑を強いられることが多い。最低限の生長さらには生存のための灌漑量を見極める方法として、水分ストレスと生長量の2つの植物情報を利用して灌漑水量を評価する方法の可能性について検討した。

2. 実験方法

本学構内に地植えの夏ミカン（樹高約10m）を供試した。幹径の計測には、抵抗歪みセンサーのブロックゲージを使用した。気象要素については、日射計、気温・地温は抵抗温度センサー、湿度は電気抵抗式センサーを使用し、いずれもロガーで1分おきに集録した。

圃場の土壤水分測定にはテンショメータを使用し、樹冠部直下と地極部の中間とし、地表面下20cmと40cmの水分測定を適時行った。また、ドゥダ（ジブティ共和国）の本学農場の気象観測場近くのアカシヤを対象として現地への適用試験も行った。

3. 実験結果

- (1) 幹径と気象要素の連続測定は、抵抗歪みセンサーの可測範囲の制約から2週間ほどの集録が可能であり、幹径の測定装置はかなり激しい夕立（7/25）にも耐えた（図1、写真）。なお、ドゥダにおける試験では、太陽電池を電源として同様の測定が可能であった。
- (2) 集録されたデータから、土壤水分状態の評価には、幹径と日射量、相対湿度とのヒステリシスの状態が、また、生育状態（幹の肥大）の評価には、日の出直前の幹径の経日変化が有効と推察された（図2-1、2-2、図3）。
- (3) 主幹と枝部の幹径の同時測定を行い、それらの関係を調べたところ、位相差はなく、0.9前後の相関係数が得られた。幹茎の変化状態を主要な情報とする場合においては、幹径の測定センサーの取り付け場所は、広い範囲から選択できることが明らかになった。

4. まとめ・今後の課題

乾燥地帯における節水灌漑水量の決定には、土壤水分量と生育量（生育状態）の両面から灌漑水量を決めることが必要と考える。このため、幹径と日射量、相対湿度とのヒステリシスの状態と日の出直前の幹径の経日変化が有用な情報と考えられた。

節水灌漑法に関しても、幹径の長期モニタリング結果は有用な情報になると考えられることから、差動トランスまたはポテンショメータなど可測範囲の広いセンサーの適用についてさらに検討したい。

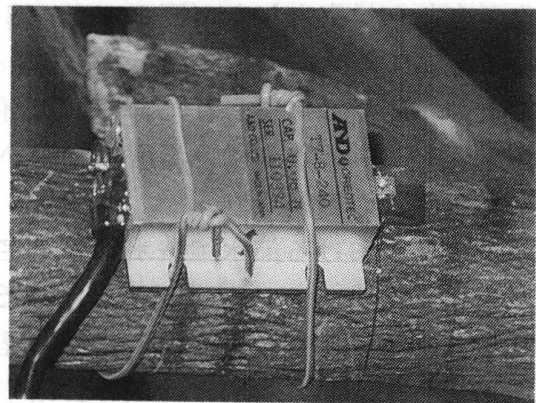
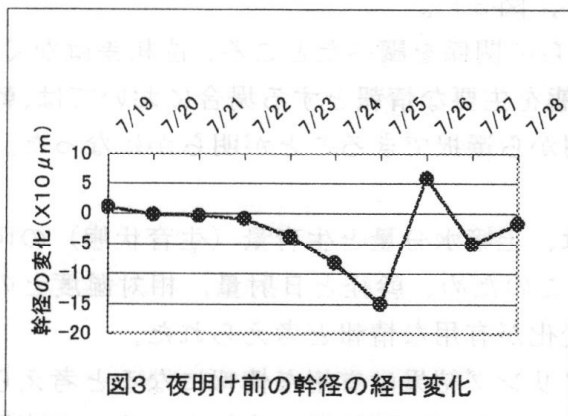
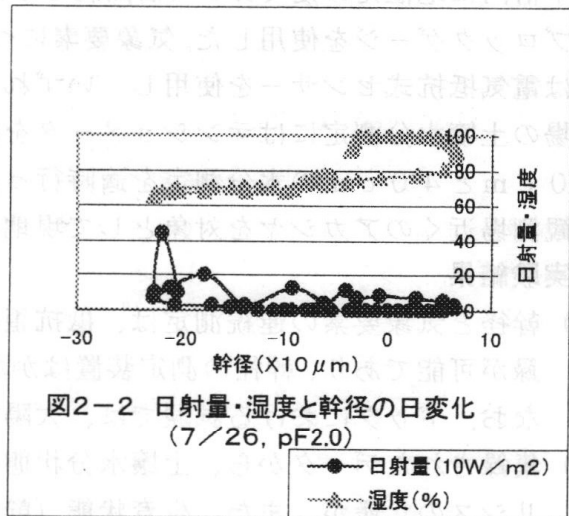
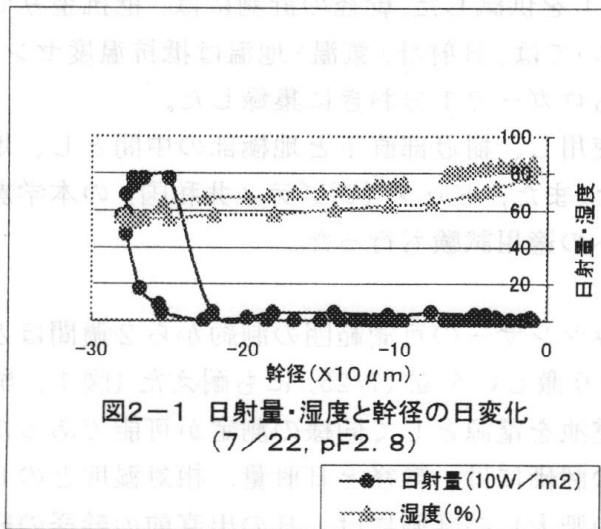
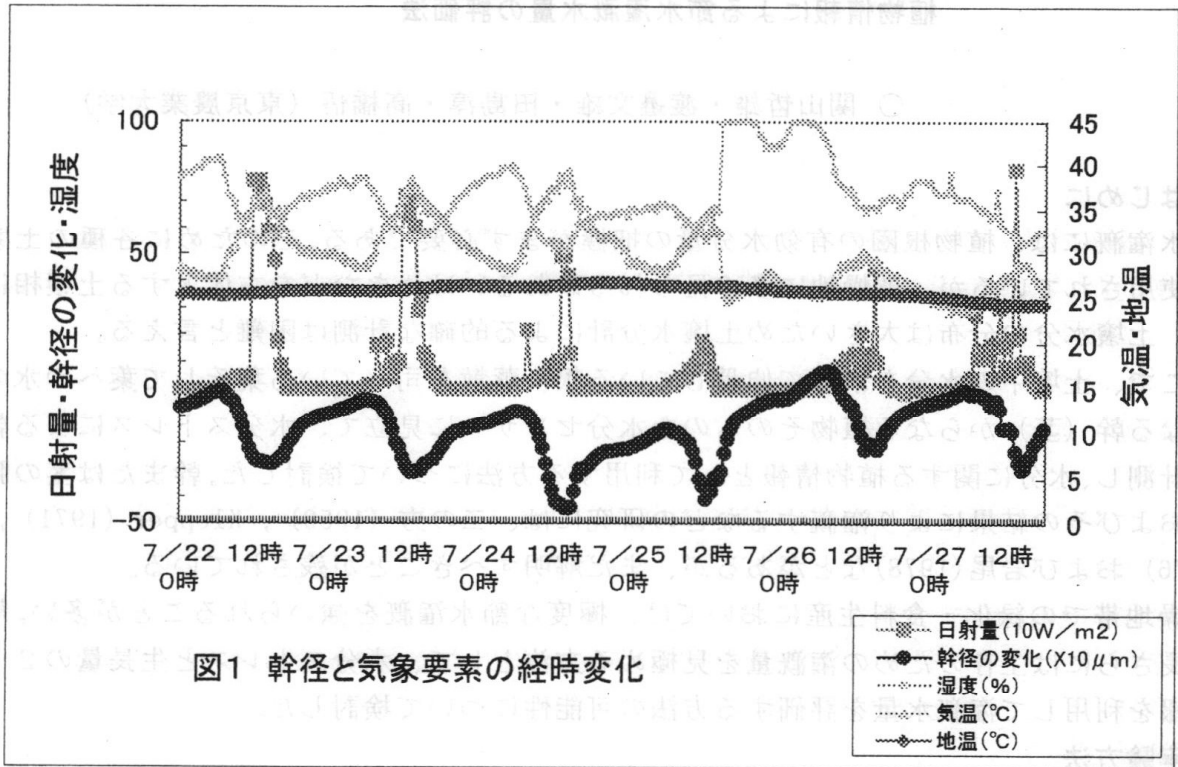


写真 歪みセンサの設置状況
(防雨カバーを取り除いた状態)

サーモトレーサーを用いた水稻の群落表面温度の測定
並びに葉色と葉温の関係
脇山 恭行（中央農業総合研究センター）

1. はじめに

サーモトレーサーを用いた作物の群落表面温度の測定に関する報告については、水分ストレスの検出 (Jackson ら、1981)、光合成速度の推定 (井上、1987)、病害検出 (Pinter、1979)、大麦の品種特性の検出 (宮下ら、1999) がみられる。これらの報告から、葉温情報は作物の生理状態を端的に表していると考えられる。そこで、水稻の登熟期における光合成活動の状態をサーモトレーサーを用いて検出しようとしたところ、葉色の異なる追肥区と無追肥区の群落表面温度に差がみられた。今回は、この原因を調べるために、葉温と葉色、蒸散抵抗及び蒸散量と葉色との関係について検討し、いくつかの知見が得られたので報告する。

2. 方法

実験は中央農研センター谷和原水田圃場において行った。供試品種には日本晴を用い、実験区は窒素施肥量の異なる A 区～D 区の 4 処理区を設けた (表 2)。移植は、2000 年 5 月 20 日に葉齢 4 に達した苗を 1 株 3 本、畝間 30cm、株間 15cm で手植えにより行った。追肥は 7 月 20 日に施用し、出穂日は 8 月 12 日、収穫日は 9 月 25 日であった。登熟期に、直径 0.1mm の熱電対 (CC) を止葉の裏面に医療用テープ (不織布) を用いて固定し葉温を、サーモトレーサーを用いて各処理区の群落表面温度を移動観測した。またポロメータを用い蒸散抵抗、蒸散量の測定を行った。これらの測定に平行して、葉面積、乾物重、クロロフィル含量 (葉緑素計: ミノルタ SPAD) 等の生育調査、気温、湿度、日射、風速の気象観測を行った。

3. 結果及び考察

1999 年に行った予備実験での水稻群落表面温度を表 1 に示した。基肥量が同じである 1 区と 2 区をみると、追肥を行った 1 区は 30.69 °C、追肥を行わなかった 2 区は 31.69 °C と 1 区は 2 区に比べて 1.0 °C 表面温度が低かった。他の実験区においても同様の結果が得られた。2000 年度実験の葉面積、乾物重の変化を図 1 に、上位 3 葉のクロロフィル含量の変化を図 2 に示した。葉面積、乾物重ともに窒素施用量の多い処理区ほど大きく、クロロフィル含量も第 1 葉、2 葉、3 葉のいずれも窒素施用量の多い区で高く推移した。葉色値の異なる葉を 3 枚選び、葉気温差 (葉温 - 気温) の日変化を図 3 に示した。日中の変化をみると葉色値が最も高い葉 (SPAD 36.1) の葉気温差は他の 2 葉に比べて低く、続いて葉色値 31.9 の葉が低かった。葉色値 26.1 の葉気温差は他の 2 葉に比べて高く推移した。石原ら (1978) は葉身中の窒素濃度と気孔開度の関係を調べ、窒素濃度が高いほど気孔開度の大きいことを報告している。気孔の密度については、今回調べていないので言及できないが、クロロフィル含量が高いために、気孔開度が大きく蒸散量が多いために葉温が低かったものと考えられた。この点について検討するため、蒸散抵抗及び蒸散量と葉色の関係を調べた (図 4)。蒸散抵抗は SPAD 値が低いほど大きく、蒸散量は SPAD 値が高いほど多かった。図 5 には各区から 6 ~ 10 枚の止め葉を選び葉気温差と葉色の関係を示した。いずれの時刻でも SPAD 値が高いほど葉気温差は低かった。表 2 にはサーモトレーサーによる各区の葉気温差 (群落表面温度 - 気温) を示した。葉気温差はクロロフィル含量の高い A 区で一番低く、続いて B 区、C 区、D 区と D 区で葉気温差は最も高かった。

以上のことから、葉色値の高い葉では気孔抵抗が小さく、蒸散量が多いために葉気温差が低かったと考えられた。群落表面温度においても同様の結果が得られたことから、熱赤外リモセン情報は、圃場での窒素肥料の施用むらの検出など栽培管理に利用できるものと考えられた。

表1 水稻の群落表面温度

試験区	基肥施用量 (N成分、kg/10a)	追肥施用量 (N成分、kg/10a)	群落表面温度 (°C)
1区	4.5	2.32	30.69
2	4.5	0.0	31.69
3	3.0	1.55	30.74
4	3.0	0.0	31.14
5	1.5	0.77	30.44
6	1.5	0.0	30.64

測定日：1999年8月9日10:30~10:55.

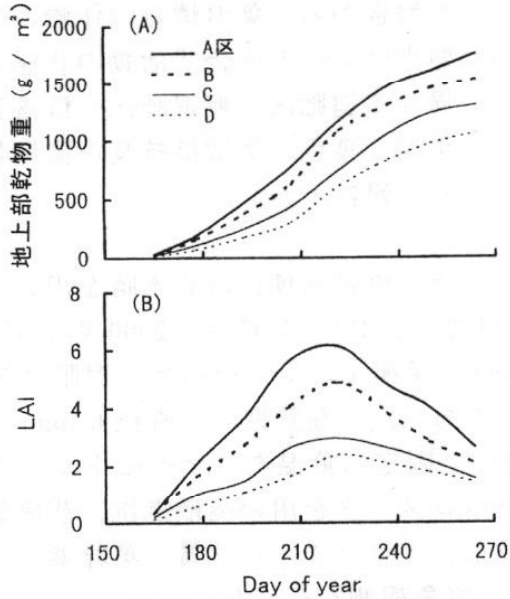


図1 地上部乾物重(A)及びLAI(B)の推移

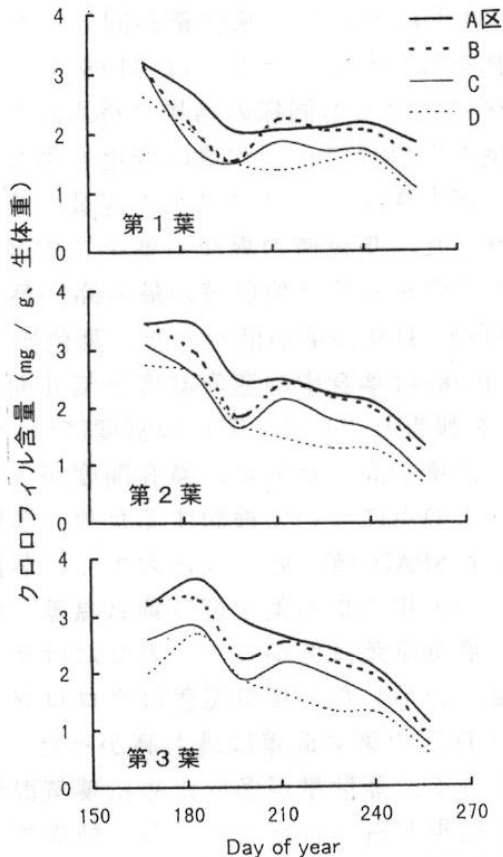


図2 上位3葉のクロロフィル含量の推移

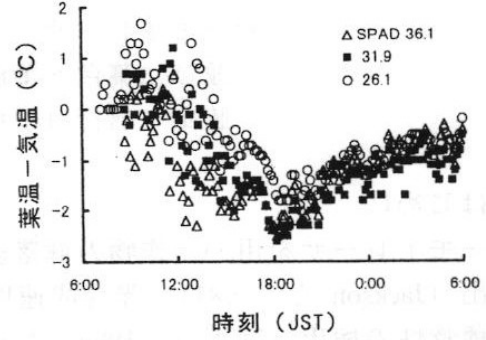


図3 葉気温差の日変化

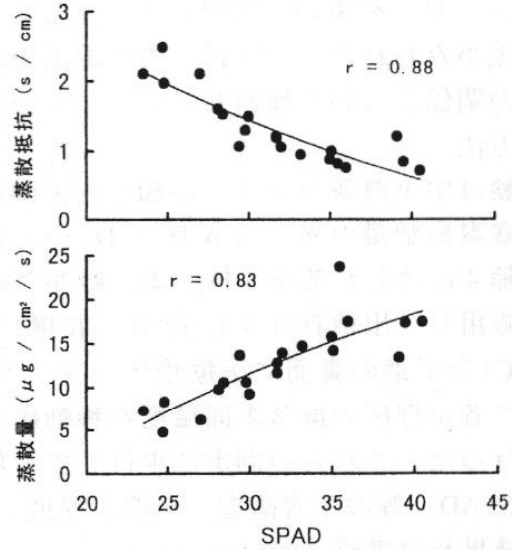


図4 蒸散抵抗及び蒸散量と葉色の関係

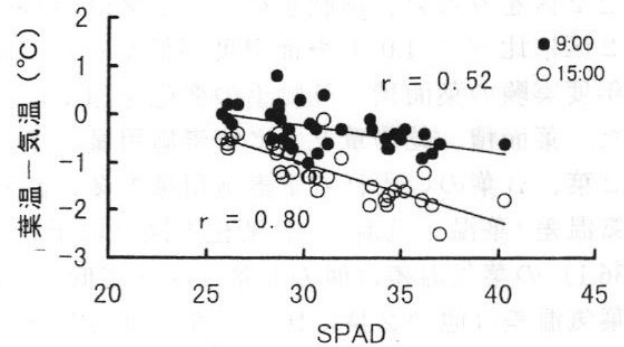


図5 葉気温差と葉色の関係 (2000/8/28)

表2 水稻の群落表面温度

試験区	基肥施用量 (N成分、kg/10a)	追肥施用量 (N成分、kg/10a)	葉気温差 (群落表面温度-気温、°C)
A区	13	5.6	-0.03
B	9	3.9	0.3
C	4	1.7	0.55
D	0	0.0	0.91

測定日：2000年8月29日11:43~11:49.

気象条件：気温30.3°C、湿度61%、日射651w/m²、風速1.1m/s (高度2m)

C3/C4 混生草原における各種フラックスと群落表面温度の特徴

○下田星児 (筑波大環境科学研究科)・及川武久 (筑波大学生物科学系)

【はじめに】

地球規模での気温や CO₂ 濃度の上昇は光合成、呼吸、蒸散といった植物の基本的な生理機能を介して、熱収支や炭素循環に影響を及ぼすことが予想され、その解明には環境変化に対する植物の応答の把握が必要である。

C3/C4 という植物の光合成タイプの違う植物群落は光合成や水利用の特性が異なることが知られている。本研究は、気象要素に対する光合成タイプごとの植物応答の特性と熱フラックスの関係を明らかにするため群落表面温度の変化に注目し、その関係を明らかにすることを目的とした。

植物を群落スケールで捕らえた群落表面温度は、植物体表面の熱交換の特性をよく表わす指標となり、微気象と生態特性の相互関係を解明するために重要な要素である。しかし、畑のような均一な植生面において測定するのと異なり、自然状態の草原での測定は難しく、また C3 植物と C4 植物といった光合成タイプの異なる種の混在する草原で面的な放射温度測定を行った例はほとんどない。そこで本研究では、植生調査と微気象観測を合わせて行い、C3 植物と C4 植物が混生する圃場における植物応答の変化と気象要素との関係について考察し、群落表面温度との関係について解析した。

【測定方法】

筑波大学陸域環境研究センター草原圃場 (36° 1' N, 140° 1' E) で 2001 年 7 月 1 日～7 月 31 日に観測を行った。フラックスの測定は、一次元超音波風速計 (DAT600; KAIJO 社) と CO₂/H₂O 変動計 (E009B; アドバネット社) を用い、渦相関法で算出した。10Hz で測定を行い、データは 30 分平均して解析を行った。温湿度計 (HMP45; Vaisala 社) は植生高さとはほぼ等しい高度 1.0m に設置した。

群落表面温度の測定は熱画像赤外放射温度計 (TH3100; NEC 三栄社) を用い、5 分間隔で行った。今回の解析では、画像を植種毎に区分し、その範囲を平均化したものを各植種の群落表面温度として使用した。視野角は垂直 28.5° 水平 30° である。広域の表面温度を測定できるように、圃場中央にあるタワーの高度 12.3m 地点で、天底角 65° にカメラ位置を固定した。

植生調査 (LAI、草丈、優占種) は、測定範囲内に 30 箇所のコードラートを設け定期的に行った。セ

イタカアワダチソウ (*Solidago altissima*, キク科 C3) やチガヤ (*Imperata cylindrica*, イネ科 C4)、ススキ (*Misicanthus sinensis*, イネ科 C4) が優占しており LAI は 3.3-3.6 であった。LAI はキャノピーアナライザー (LAI2000; Li-Cor 社) で非破壊的に連続測定し、別域における刈取り値で補正した。植生の蒸散量の変化は、ポロメーター (LI6400; Li-Cor 社) を用いてチャンバー内温度を 30°C に設定し測定した。

【結果】

Fig 1. にポロメータで測定した個葉の PPFD に対する気孔コンダクタンスを示す。7/1 と 8/7 を比べると、C4 植物のチガヤとススキでは変化がないが、セイタカアワダチソウ (C3) では気孔コンダクタンスの減少が見られる。これは 7 月から 8 月初めにかけてほとんど降雨がなく、土壌が乾燥したため、C3 植物のセイタカアワダチソウでは水ストレスがかかり気孔が閉じる傾向にあったためと思われる。

Fig 2. に 7/4、7/31 の各種フラックスの経時変化を示す。両日とも最高気温は 35°C で飽差の最大は 4hPa 前後と大きな差はなく Rn も同程度であった。しかし、両日の熱フラックスの配分は異なり 7/31 の午後の H は 1E より大きくなった。気孔コンダクタンスの減少により潜熱放出が小さくなったためと考えられる。

Fig 3. に 2 群落の群落-気温差の日変化を示す。7/4 に比べ 7/31 では群落表面温度が高く、気温とはほぼ変わらない値を示した。セイタカアワダチソウ (C3) とチガヤ (C4) を比較すると、7/4 はセイタカアワダチソウの方が低温となり、7/31 は両者にほとんど差は無かった。C3/C4 植物の気孔コンダクタンスの差が群落表面温度に影響を与えていると考えられる。

C4 植物のチガヤでは、7/4、7/31 両日で PPFD に対する気孔コンダクタンスに大きな差がないが、日中の群落表面温度は大きく異なっている。群落表面温度の変化は、気孔開度のみでなく、他の気象要素による影響も考えられる。

【まとめ】

C3/C4 混生草原における各種フラックスは、生理的特性に影響を受けることが分かった。

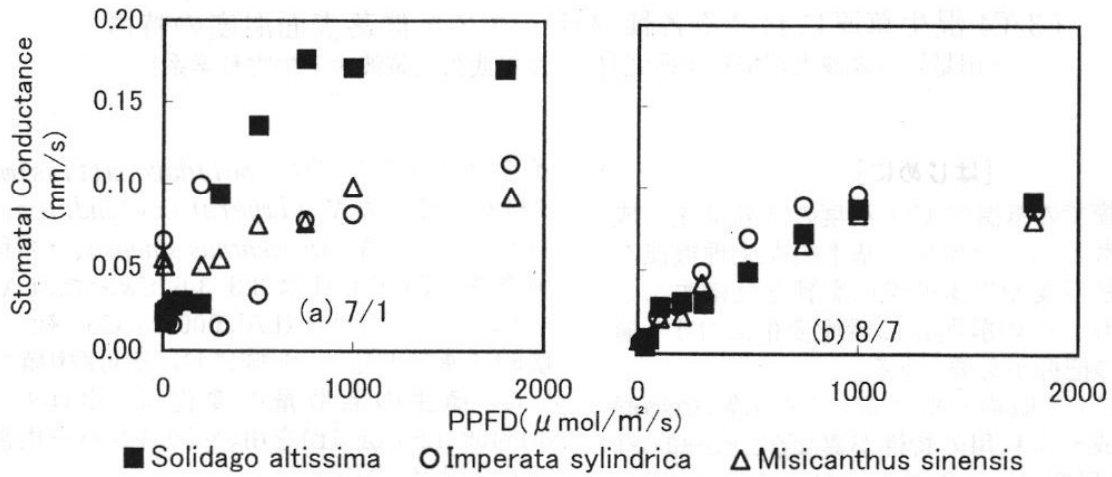


Fig 1. Stomatal conductance for PPFd measured with LI6400 porometers as a function of transpiration. Stomatal conductance observed at a field on July 1(a) and August 7(b).

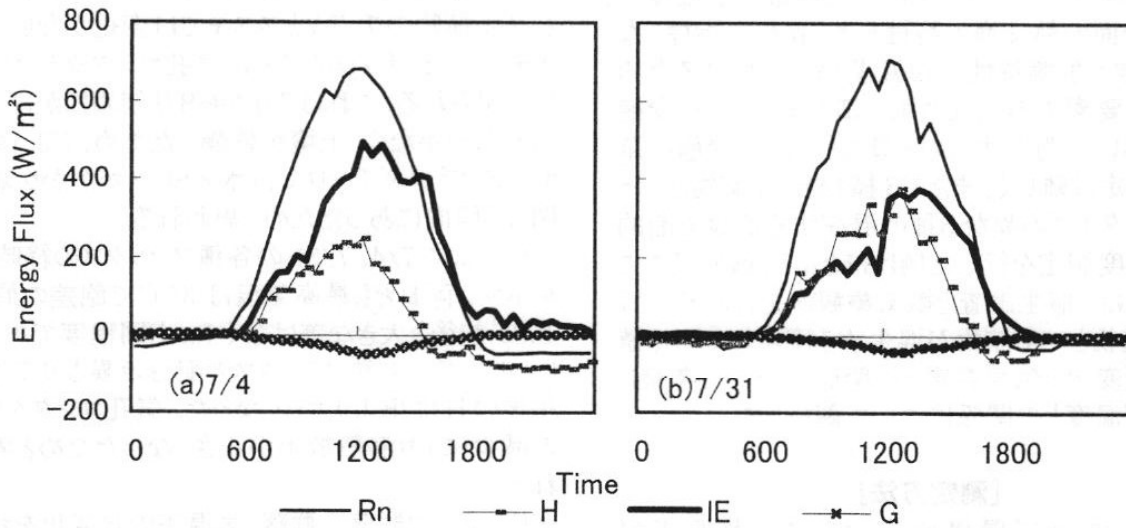


Fig 2. Temporal variations of energy and carbon flux measured by eddy correlation method during July 4(a) and July 31(b) .

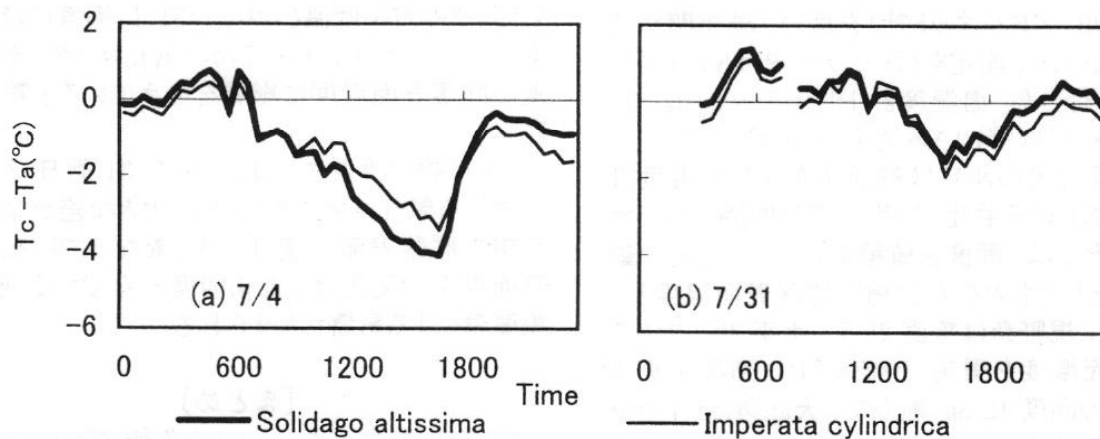


Fig 3. Dairy variations of canopy surface temperature(T_c) minus air temperature(T_a) at 1.0m between *Solidago altissima* and *Imperata cylindrica* on July 4(a) and July 31(b) .

アグロフォレストリーの設計に関する基礎的研究

○富沢彰之 渡邊文雄 田島淳 高橋悟 (東京農業大学)

1. はじめに

乾燥地域においては、一般に、日射量が多く、気温や地温も高く過酷な環境となっている。そのため、食糧自給率も低く農業生産には困難を伴う。このように、乾燥地は日射量が非常に多く、気温や地温の高温化へとつながることから、筆者らは既報においてアグロフォレストリーに注目し、東アフリカジブティ共和国において実地観測を行なった。¹⁾そして裸地区に比べて樹木下の環境が良好である結果を得た。そこで今回はアグロフォレストリーを実施する場合、どのような樹齢の樹木が適するかなどを知るための基礎検討を日射量との関係から行ったので報告する。

2. 調査地概要及び調査方法

調査国であるジブティは、紅海に面しソマリア、エリトリア、エチオピアに接し、面積 23,000k m²、人口 51 万人である。主要経済はサービス産業が中心で、第 1 時産業が GNP に占める割合は約 4 % と低い値となっている。気候は沙漠気候に属し、年平均降雨量は 155mm である。解析に使用したデータは 2000 年 12 月 17 日に東アフリカジブティ共和国 Douda 農場内の裸地 (樹木外) と樹木内で観測した、日射量、気温・湿度 (地上 50 cm)、地温 (地表から 5 cm、10 cm) である。なお測定間隔は 10 分とした。この得られたデータの日変化の比較と温度頻度の度数分布を分析するとともに、一方ではアグロフォレストリー設計のための作物生育に必要な最低日射量についての基礎的な検討を日本国内 (東京農大校内) で得たデータをもとに、

(1) 最低照度の確保目標を中光 (10~40klx) 以上と仮定し、国内で、照度と日射量の実測による検定から換算式を求め、最低日射の判定。

(2) 樹木の成長による日射の緩和量の変化について、樹径と日射量の関係の実測の要領で行った。

3. 結果及び考察

図-1 に 2000 年 12 月 17 日の樹木内外の -5cm における地温の日変化を示した。樹木外の裸地では 40℃ を超える最高地温を、一方、樹木内では 35℃ 以下に抑えることができた。図-2 に 10 分おきの -5cm の地温頻度分布を示した。樹木の外では幅の広い地温分布を示しており、一方樹下では地温を緩和させるとともに、幅の狭い分布を示している。樹木の外の裸地では遮蔽物がないため熱を吸収しやすくまた放出しやすいことによるものであろう。

作物生育にとって日射は最も重要であることから、照度での中光を日射になおすため、図-3 に示す換算式を実測によって求めた。その後、その式を用い、図-4 に示すようなジブティで観測した日射量の評価を行なった。その結果、確保目標を概ね超えており、作物の生育が可能と判断される。つづいて樹木による緩和を図る場合、どの程度樹木が成長したらアグロフォレストリーとして利用できるか及び配置を考えるうえで、遮蔽量を何らかの尺度で簡単に把握することができれば計画が立てやすい。そこで、木の幹の太さと日射量の減少率に着目し、実測を行ない傾向を分析したのが図-5 である。樹径と日射の緩和量の間には正の関係がある。樹液流量と葉量の間に関係があることから考えて、

樹径と日射の緩和量の間にも関係があったものと推察される。

今回は国内における樹木の傾向であるが、海外で他の樹種でも同様の傾向が認められると考えられる。今後この方向から検討していきたい。

4. 終わりに

今回、実地観測による微気象の分析とアグロフォレストリーを実際に行なう上での指針づくりのために、最低日射を照度との関係により検討し、さらに緩和環境の簡易な測定方法として、樹木の樹径を測定する方法について検討を行なった。その結果、効果及び傾向が確認できたことから、今後の展開として、独木による微気象からの検討から、樹林や他の因子も含めた詳細な検討を行ない、アグロフォレストリーの設計にあたっての基礎資料の蓄積を図りたい。

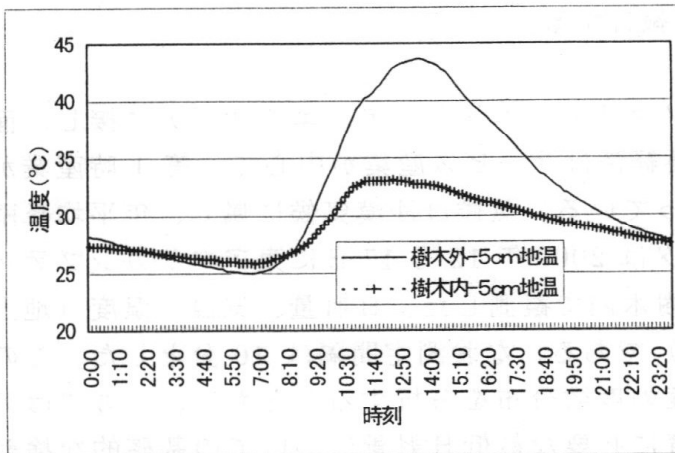


図-1 ジブティにおける樹木外と樹木内の地温の日変化 (2000年12月17日)

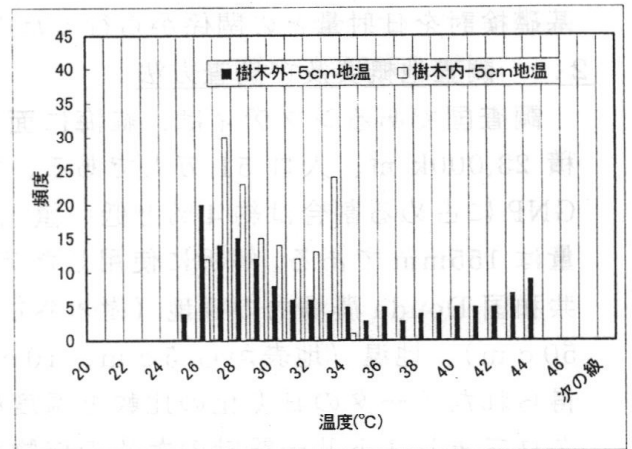


図-2 ジブティにおける樹木外と樹木内の地温のヒストグラム (2000年12月17日)

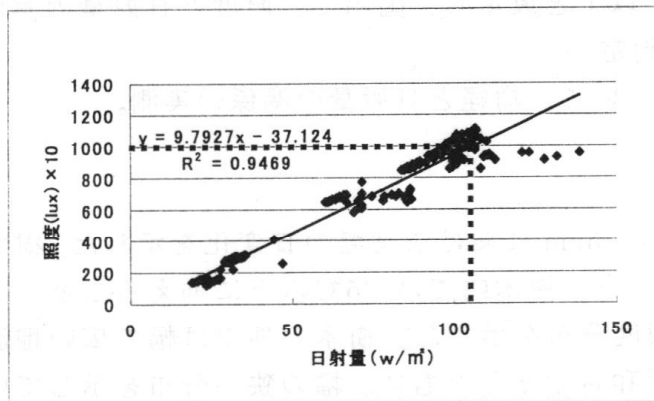


図-3 日射量と照度の換算式推定の検定

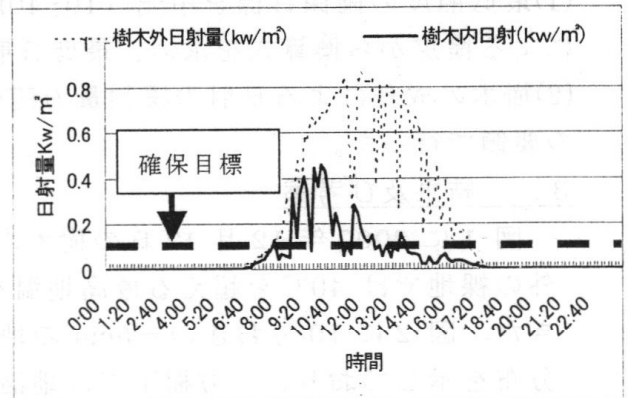


図-4 ジブティにおける樹木外と樹木内の日射量の日変化 (2000年12月17日)

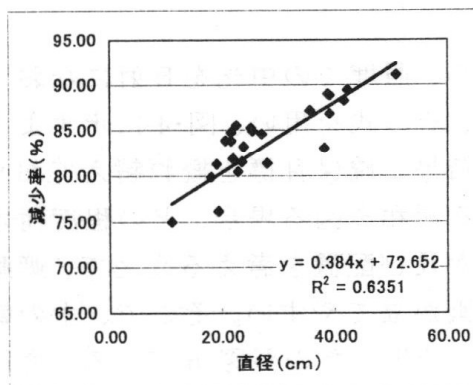


図-5 サクラの木の直径と日射量の緩和量の関係 (2001年7月20日)

引用文献：

- 1) ジブティ共和国におけるアグロフォレストリーの可能性について(II) 富沢彰之他) 日本沙漠学会第12回学術大会 (2001) p 61~62

温暖化傾向が果樹の休眠・覚醒作用に及ぼす影響調査

○岡村和之・関山哲雄（東京農業大学）

1. はじめに

近年の温暖化傾向が果樹栽培にどのような影響を及ぼすのか、果樹の休眠・覚醒作用に着目し、長野を対象として調査した。対象果樹はオウトウである。

果樹の休眠には他の部位が芽の萌芽を抑制している前休眠、一定の低温要求を満たさないと萌芽しない自発休眠、高温に反応し萌芽、開花する他発休眠の3段階ある。そこで、低温の影響が大きいとされる2段階目の自発休眠を対象とした。

2. 調査方法

果樹の休眠・覚醒作用については発育速度モデル（表-1）を適用し検討した。このモデルを今回対象としたオウトウを例にとり説明すると、表1から0℃より高く3℃以下の温度帯の場合では、1100時間の低温が休眠覚醒に必要なことがわかる。そして休眠覚醒に必要な低温量を1とし、この温度帯に1時間遭遇したことによって1/1100休眠覚醒に近づいたとする方法である。このようにして休眠覚醒に向かって進む量をDVR（発育速度）と呼ぶ。このDVRの積算値をDVI（発育指数）という。そして毎時間ごとのDVRを求め、DVIが1になったときが自発休眠覚醒期である。

気温のデータは気象庁提供の資料を用い、1960年から1990年については3時間おきの計測であるため、この間の値は不変として処理した。1990年から1996年にかけては1時間ごとのデータでありそのまま使用した。

3. 結果および考察

近年の温暖化傾向は、寒冷地において冬季における日最低気温の月平均値の上昇が顕著であることが明らかとなった（図1-1、図1-2、図1-3）。

つぎに発育速度モデルを適用した結果を図2に示す。近年、発育指数(DVI)に緩やかな上昇傾向が見られた。これは図1-1で示したように最低気温が上昇している事が原因と考えられる。最低気温の上昇に伴いオウトウの休眠覚醒に影響を与えない-6℃以下の温度帯が減る一方、最高気温は多少の上昇傾向が見られるものの最低気温と比較するとさほど上昇していないため温度帯が休眠覚醒に有効な部分に収束したためと思われる。

これにより月平均最低気温（図1-1）に見られる大きな変動はオウトウに対して、現段階ではさほど大きな影響を与えるものでないことが明らかとなった。しかしながら最低気温の上昇傾向がこのまま続き、最高気温の上昇が強まると近い将来にこの影響が出る事が考えられる。つまり現在はオウトウの自発休眠覚醒に有効な温度帯に気温が収束しているものの現在の速度で温暖化が進行すればオウトウの自発休眠覚醒が遅れ、それに伴って開花も遅れ、熟期が短くなることなどが予想される。

最後に、果樹の休眠・覚醒作用についてご教授いただいた杉浦俊彦主任研究官（農業技術研究機構果樹研究所）に心より感謝します。

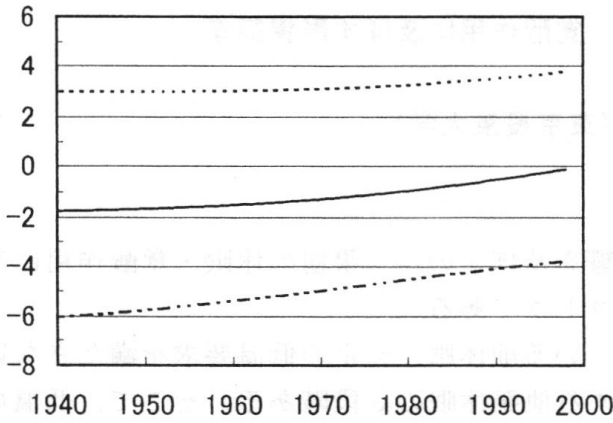


図1-1 長野

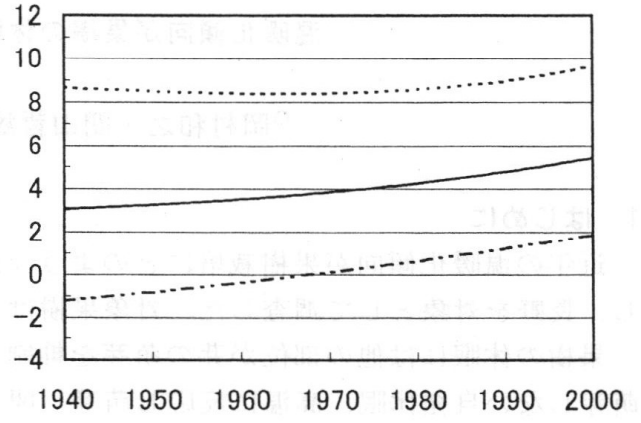


図1-2 京都

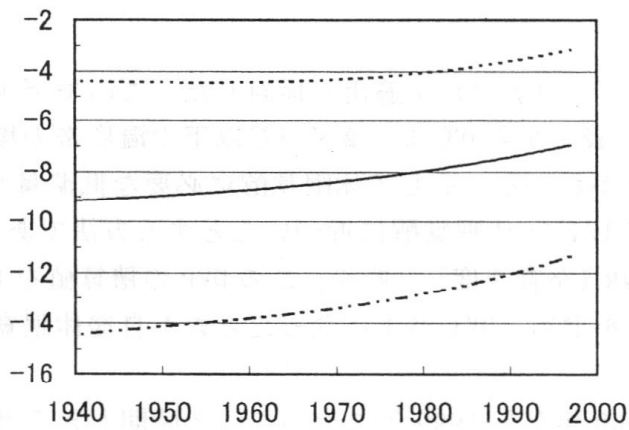


図1-3 旭川

..... 1月平均最高気温(°C)
 ——— 1月平均気温(°C)
 - - - 1月平均最低気温(°C)

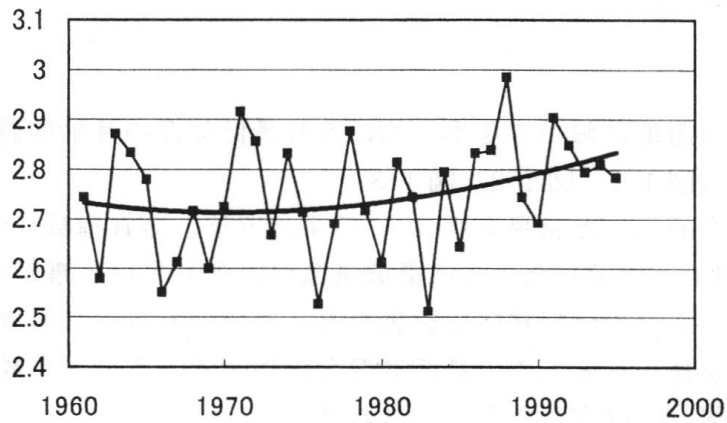


図2 発育指数(DVI)の変動

表1 自発休眠覚醒までの所要時間とモデルにおける発育速度(DVR) (杉浦ら、1998)

温度(°C)	-6	-3	0	3	6	9	12	15
自発休眠覚醒までの時間(h)	—	—	1100	1100	1100	1250	1650	—
DVR	0	0.000455	0.000909	0.000909	0.000909	0.000800	0.000606	0

近年の高温に伴う水稲の生育前進について

高橋行継

(群馬県農業試験場東部支場)

1. はじめに

地球温暖化が水稲の生育に与える影響については、様々な手法で研究が行われており、成果が得られている。近年、夏期に平年を大幅に上回る高温年が多く、水稲の生育も高温によって前進し、品質低下等の問題点が発生している。圃場レベルでの高温条件下における水稲の生育への影響について、これまでの調査のデータをもとにとりまとめたので報告する。

2. 調査方法

気温は1994～2001年までの8年間の日平均気温(支場内観測値)とした。平年値は当支場で観測した1961～1990年の30年間平均値を使用した。水稲は気温と同一期間の場内における品種比較試験圃場のコシヒカリ、朝の光の2品種の出穂期、成熟期、この他収量、品質データを使用した。なお、品種試験は毎年ほぼ同一の移植時期で、3作期で実施されている。3作期の呼称および移植時期は、早期：5月8日、早植：6月3日、普通期：6月18日(移植時期は8か年の平均日)である。

3. 結果および考察

1994～2001年の稲作期間(5月～10月)の気象を、次の4つのタイプに大別した。

- ① ほぼ全期間を通じて高温年：1994、1999、2000年
- ② 生育期高温年：1995、1997、2001年
- ③ 成熟期高温年：1998年
- ④ 成熟期低温年：1996年

稲作期間の平均気温は、96年が平年値対比 -0.8°C であった以外は、平年並みか高温である。94、99、00年は同約 1°C の高温であり、半月比較では 2°C 以上高温となる期間もあった。(図1)。出穂期はコシヒカリ、朝の光共に高温年ほど早まる傾向にあり、早い作期ほどその傾向が著しい。移植～出穂期までの積算気温もほぼ同様の傾向を示した。

出穂～成熟期の日数、積算気温における品種間格差は、出穂期までの同値と比較した場合小さく、出穂期までの生育前進が成熟期の前進に大きく影響している(図2～3)。

収量は、高温年に概ね多収となる傾向が認められる(表)。成熟期に高温であった98年は収量が低い、台風による倒伏の影響である。コシヒカリは、高温によって稈長が伸長し、それに伴って発生する倒伏等で収量や品質の低下を招きやすい。1年だけのデータであるが、生育期は平年並みの気温で、成熟期にやや低温気味に経過した96年が高収量、高品質となっている点は注目できる。一方、外観品質は高温年に低下しているが、主に乳白米の発生によるものである。また、これまで問題となることが少なかったカメムシによる被害が近年発生、拡大しつつあるなど、近年の高温傾向によって病害虫の発生傾向にも変化がみられる。

4. おわりに

水稲生育期間の高温は、出穂、成熟期が前進する大きな要因となっている。このこと自体には大きな問題はない。このような気象条件下では収量は概ね高いものの、登熟期の高温や病害虫の多発等による品質低下が大きな問題となっている。また、品種によっては倒伏も発生しやすくなり、収量・品質の低下、さらには作業性の低下にもつながる可能性がある。生育の前進によって、適期の追肥作業や病害虫防除に十分対応しきれない生産者もあり、また永年の水利慣行が災いして、適切な水管理ができないといった事例も見受けられる。

良質米生産のためには、関係機関が連携して生育に関するきめ細かい情報を提供し、適正な肥培管理を推進していく必要がある。

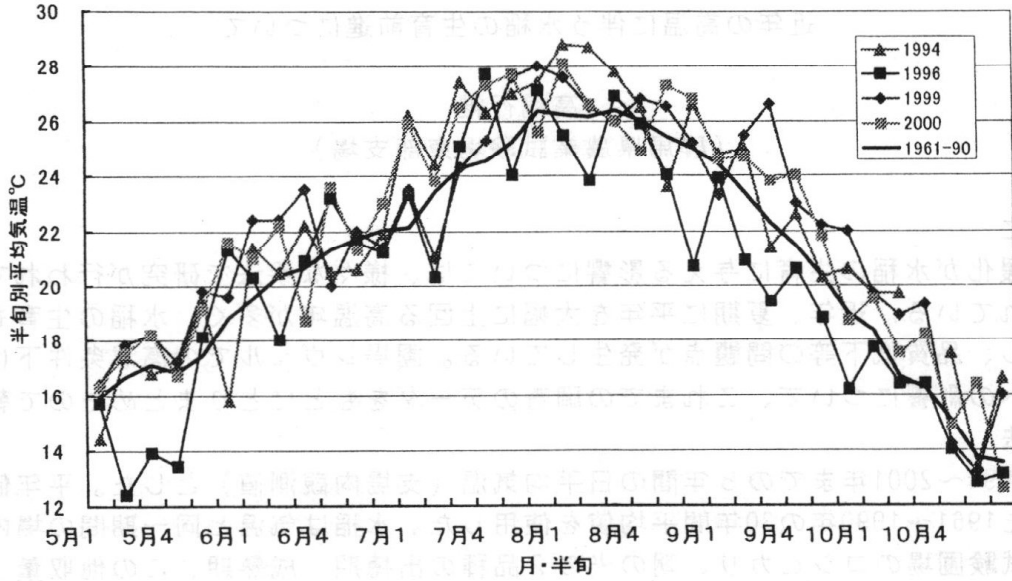


図1 日平均気温の推移

表 収量・外観品質 (1994~2000年)

年次	高温年 (94,99,00)			生育期高温年 (95,97)			成熟期高温年 (98)			成熟期低温年 (96)			平年		
	早期	早植	普通	早期	早植	普通	早期	早植	普通	早期	早植	普通	早期	早植	普通
収量 (kg/10a)															
コシヒカリ	546	472	373	448	380	391	503	395	287	641	580	—	520	432	416
朝の光	552	559	544	575	510	520	541	456	414	725	588	711	581	543	520
品質 (1-9)															
コシヒカリ	5.1	4.9	4.0	4.5	4.5	3.8	4.5	5.5	7.5	4.0	4.0	—	5.0	3.8	3.9
朝の光	4.1	5.2	4.2	7.5	4.5	3.3	3.8	6.5	6.5	4.0	3.0	3.0	5.2	4.0	3.5

(注) 品質は外観品質で1(上上)~9(下下)の9段階評価

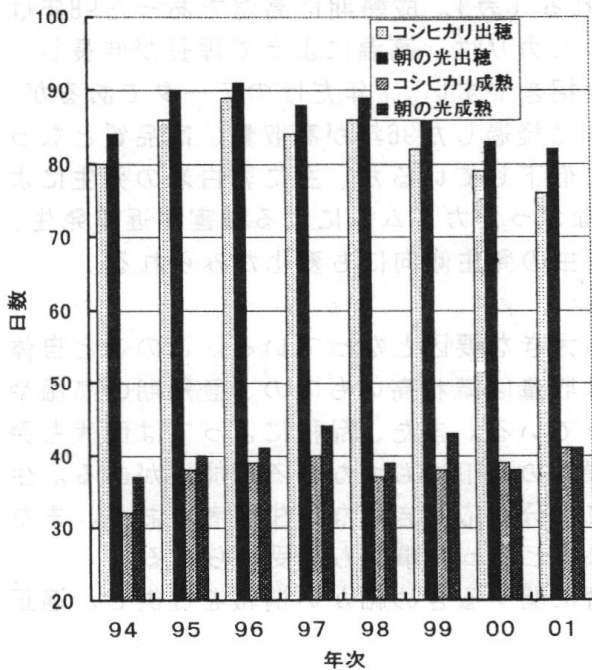


図3 出穂、成熟までの日数(早期)

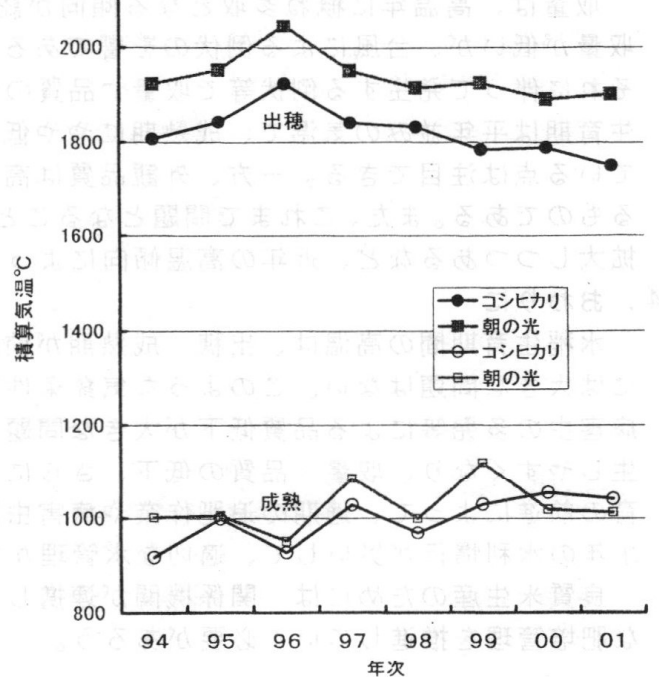


図2 出穂、成熟までの積算気温(早期)

国内主要河川への温暖化の影響

井上 聡（農環研），横山宏太郎（中央農研北陸研究センター），
大野宏之（農環研），川島茂人（農環研）

はじめに

井上・横山(1998)は，12～3月の降雪の相当水量（以後，降雪水量とする）が本州以南の非山岳地域で減少し，特に北陸以西の平野部では降雪が生じなくなるという温暖化時の予測結果を示した．積雪として貯留される水量が減少すれば，流出特性が変化し，冬の河川流量が増加し，春の河川流量が減少する．そこで，温暖化時における国内主要河川への降水量，降雪の相当水量といった供給側の変動と，農業用水，生活用水，工業用水といった需用側との量的な関係を調べた．

方法

対象となる国内の主要河川流域には支流を含む水系全体を用い，流域面積の大きな20河川（手塩川，石狩川，十勝川，米代川，雄物川，最上川，阿賀野川，信濃川，九頭竜川，北上川，阿武隈川，那珂川，利根川，荒川，富士川，天竜川，淀川，江の川，吉野川，筑後川）を選んだ．

供給側の流域降水量，降雪水量には，国土数値情報ファイルKS-602によって得られた各メッシュの面積に，井上・横山(1998)の水量を掛けたものの流域全体の積算とした．

需用側の各河川での用水量は，現在の全国の年降水量に対する年利用量の割合を，河川に適用した．日本の水資源（旧水資源白書）平成13年度版によると，年降水総量6,500億 m^3 に対する各用水は，農業用水586億 m^3 ，工業用水137億 m^3 ，生活用水164億 m^3 であり，農業用水は，年降水量の9%に相当する．

結果

地球温暖化の進行にしたがって，各河川の年降水量は現在と同等または微増したが，各河川の年降雪水量は現在より減少した．現在と100年後についての推定結果を図1に示す．変動は，温暖化によって降水形態が雪から雨に変わったために生じ，地域によってその様子は異なった．そこで，以下のような降雪変動率を調べた（図2）．

$$\text{降雪変動率} = \frac{\text{現在の年降雪水量} - \text{将来の年降雪水量}}{\text{現在の年降雪水量}}$$

100年後の降雪変動率は，東北地方や日本海側の河川で他の地域より大きく，いずれも0.1を超えた．これらの河川では，積雪として貯留される水量の減少によって，流出特性が大きく変わり，冬の河川水量が増加し，春に減少する．その変動率は農業用水利用割合を上回る．同地域は広く稲作が行われており，暖候期に集中して水利用する特徴を持つため，春の水不足が懸念される．温暖化時の流出特性の変動を考慮し，対策を講じる必要がある．

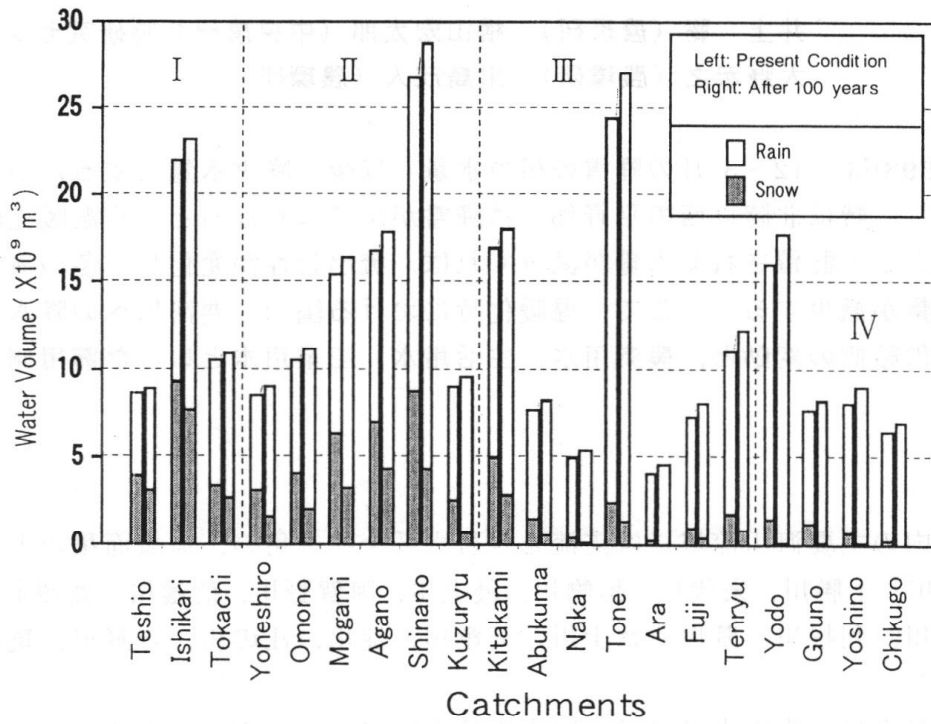


図1 各河川の現在と100年後の年降雨水量、年降雪水量の推定値

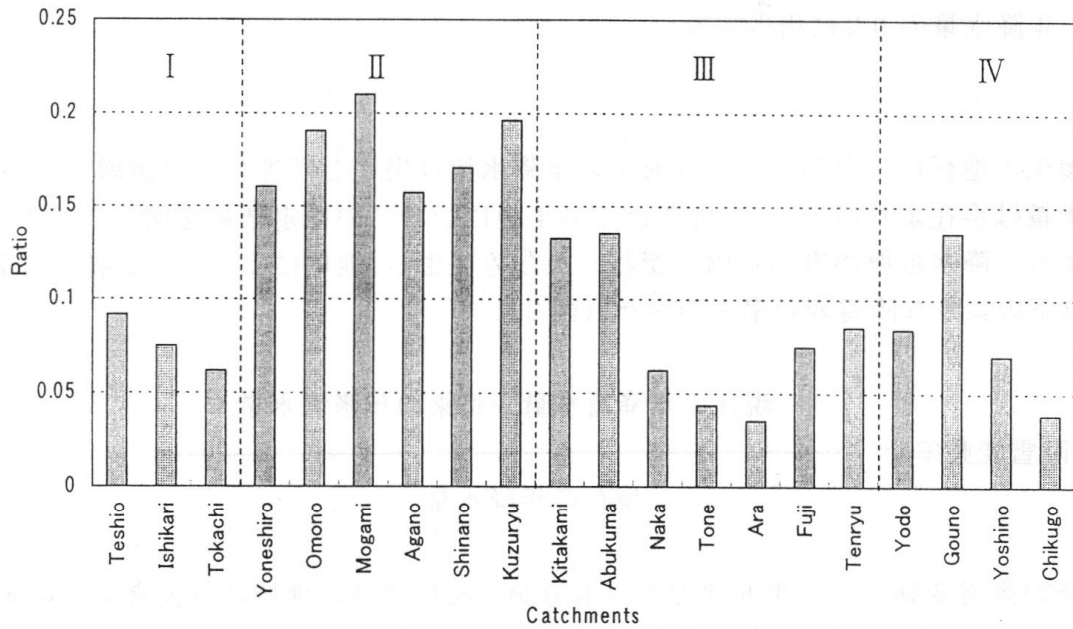


図2 各河川の降雪変動率（100年後）

地上到達B領域紫外線のメッシュ図作成

○山本 雄介¹⁾ 今 久²⁾ 松岡 延浩²⁾

1) 千葉大学大学院自然科学研究科 2) 千葉大学園芸学部

1.はじめに

南極大陸を中心とした成層圏オゾンの減少に伴うB領域紫外線 (UV-B:280~320nm) の地上到達量の増加が危惧されている。UV-Bによって白内障や皮膚ガンという人体への影響、また光合成抑制などの植物への影響がある。これらの研究の重要性は高く、また実際にUV-Bが地上に到達している状況を把握する必要がある。そこで今回、日本国内における地上到達UV-Bのメッシュ図作成を試みた。

2.方法

UV-B メッシュデータは次の手順で求めた。まず過去の観測データから札幌・館野・鹿児島・那覇におけるUV-B量と日射量の比 (以下UV-B/日射) を1日ずつ計算し、1991~1997年の平均値を出した。次にそれを近似式にあてはめUV-B/日射の年変化を表した。そして任意地点について計算されている日射メッシュデータを年変化から算出した値に乗じることでUV-Bメッシュデータが求められた。

メッシュ図の対象地域は最東・西・南・北端である南鳥島・与那国島・沖ノ鳥島・択捉島を含む日本領域である (図1)。地図データとしてGTOPO30 (1grid≒30") を使用し、

過去 (1991~1997年) のUV-Bデータ・日射データとして、それぞれオゾン層観測年報・気象庁年報のCD-ROM ((財) 気象業務支援センター) を使用した。また日射メッシュデータとして「自然エネルギー賦存量図」(農林水産省グリーンエネルギー計画) を使用した。メッシュ図作成にはGISソフトであるGRASS (U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories) を用いた。

3.結果

図2には、札幌でのUV-B/日射の月平均値を示した。月平均値は毎年同じ値を示すことはなく、1991~1997年間の平均値に対して最大で18%の変化が認められた。

ここで、UV-B/日射の年変化を予測するために1991~1997年の各日の平均値をもとに次のような365日周期のsin曲線にあてはめた。

$$USR = A \sin(2\pi d/365+P)+M$$

USR: sin近似から求めたUV-B/日射($\times 10^{-3}$)

A: 振幅, P: 位相 (ラジアン), M: 平均, d: 日数

120° E, 47° N



155° E, 20° N

図1 対象範囲

A, P, M は最小自乗法で求めた。これらの値を用いて USR の年変化を表したのが図 3 である。このように、札幌における 365 日周期の UV-B/日射を表す式を得ることができた。

また、館野・鹿児島・那覇において UV-B/日射の月平均値は、1991~1997 年間平均値に対し、それぞれ最大 41%、20%、17%変化していた。館野では 1997 年の 2 月に 41%の変化が認められたが、2 月以外では 22%が最大であった。

館野・鹿児島・那覇において札幌と同様に USR を得るために A, P, M を求めた。表 1 に各地点での A, P, M の値を示す。

さらに各地点固有の A, P, M (表 1 参照) を一意に決定することができるよう、これらを緯度 ϕ ($^{\circ}$) の 1 次関数でまとめた。

その結果、札幌から那覇までの UV-B/日射を緯度の関数として表すことのできる USR_{est} を得た。このときの A, P, M は次の通りである。

$$A = 0.017\phi - 0.193 \quad P = 0.017\phi + 1.167 \quad M = -0.032\phi + 2.214$$

(R²=0.994) (R²=0.867) (R²=0.934)

そしてこの USR_{est} のメッシュ図を作成し、日射メッシュデータを掛け合わせることで UV-B メッシュ図を作成した。

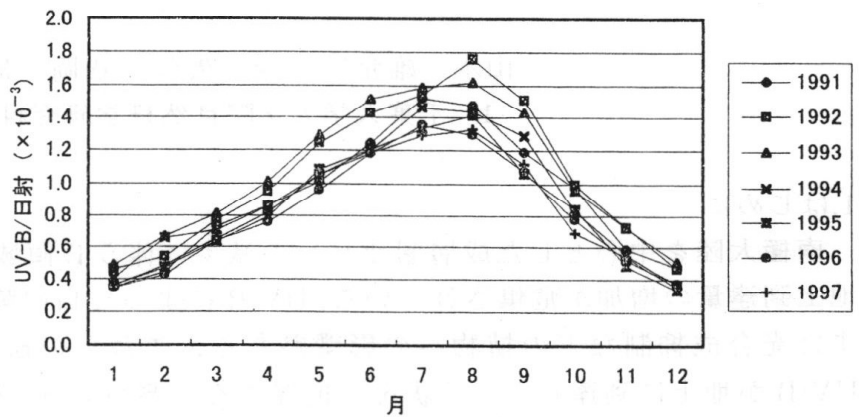


図 2 UV-B/日射の月平均 (札幌, 1991~1997 年)

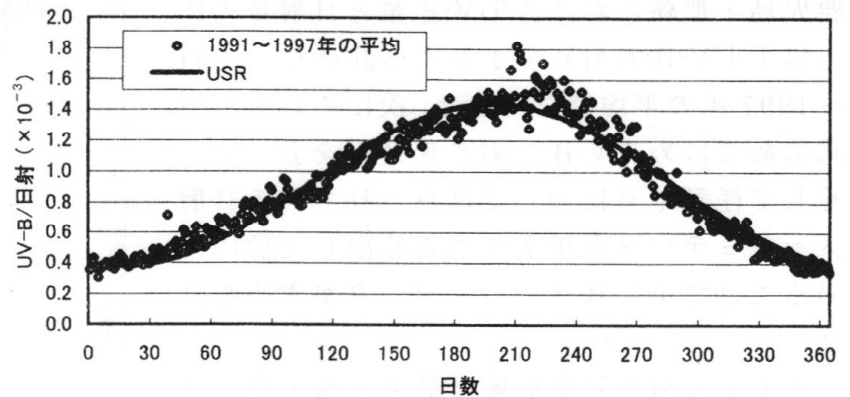


図 3 1991~1997 年の平均値と USR の年変化 (札幌)

表 1 各パラメータの値

	札幌	館野	鹿児島	那覇
A	0.528	0.4	0.338	0.237
P	1.85	1.82	1.72	1.56
M	0.909	1.002	1.218	1.439

ジブティにおけるアグロフォレストリーの可能性

東京農業大学 高橋悟

1、まえがき

熱帯乾燥地域は日射量が多く、気温、地温はともに高く、食糧生産を行なう上で過酷な環境となっている。そのため、熱帯乾燥地域は生産量、自給率ともに低い。このような地域での農業生産の向上は今日の人口問題、食糧の自給率向上及び、安定などの観点からみて大変大切で、熱帯乾燥地域の環境改善によって農業生産の空白地や空白期間を短縮するといったことが重要となる。このような厳しい環境を改善するための一つの方法としてアグロフォレストリー（同一空間に農作物の生産と林業を組み合わせることで、生態的、経済的な相互作用を利用する）がある。このアグロフォレストリーによる農業生産環境の改善の可能性について、東アフリカジブティ共和国を例にして検討を行なった。

2、ジブティ共和国の概要

ジブティ共和国は図-1に示すアフリカ大陸東部“アフリカの角”の一部にあり、エチオピア、エリトリア、ソマリア、と接した面積23,000km²（四国の1.2倍）の人口約50万の国である。そのうちの70%が首都のジブチで生活を営んでいる。ジブティ共和国の国土はアフリカ大地溝帯内に含まれるため、地形は複雑でアデン湾の0m地帯から平原状沙漠、そして1,500m近い高原地帯の岩石沙漠まである。

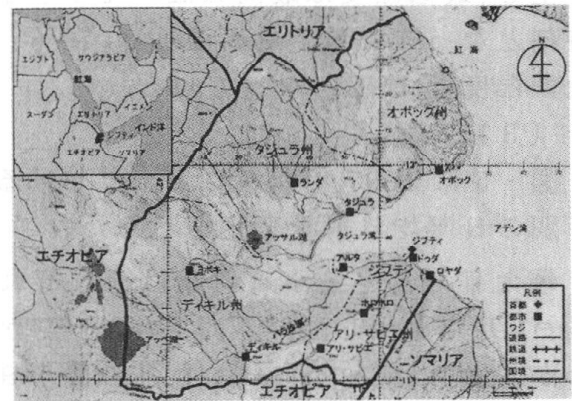


図-1 ジブティ共和国概要図

農業の観点から見ると耕作可能面積は国土の1%、牧草地面積は国土の10%で主要な経済は港湾、運輸、空港等のサービス活動が主体であり、農業、牧畜、及び漁業などの一次産業はGNPの約4%にすぎない。

3、ジブティの自然環境

3.1 気象・水文特性

(1) 気温

図-2に1997年 Douda 農場の月別平均気温を示す。5月～9月のすべての月において30℃を超えている。月別平均気温の最高気温は7月の37.4℃であり、最低気温は1月の25.3℃である。東京の平均気温のおよそ2倍であり、ジブティの気温が高いことが良く分かる。

続いて1日の気温変化を図-3に示す。気温は日の出後、時間経過とともに上昇し、13時～14時にかけてピークを示し、

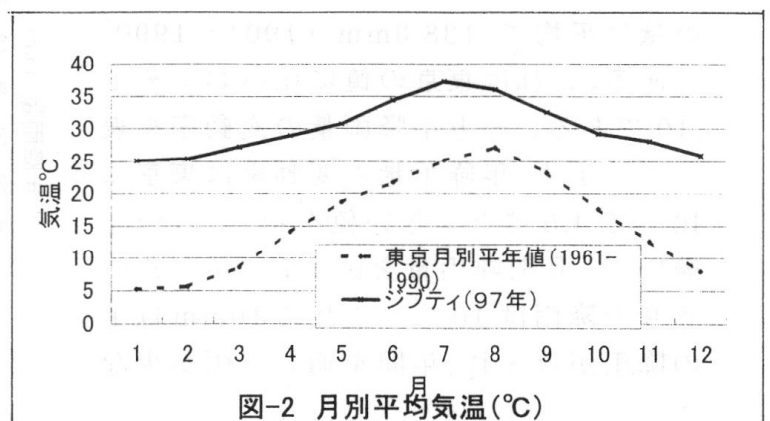


図-2 月別平均気温(°C)

その後徐々に低下しており、30℃～53℃の間で変化している。日格差は約10℃を示す。

(2) 湿度

図-4に1997年の月別平均相対湿度を示す。月別の平均気温の場合とは逆に、最低湿度は7月に発生し、最高湿度は、11月に生じている。気温、湿度の関係をみると、気温が最高を記録する夏季において湿度が最低を示しており、高温低湿となり、夏季は非常に乾燥するといえる。図-3の1日の湿度変化をみると、最高湿度は最低温度を記録する時間に生じ、最低湿度は最高気温の発生する時刻となっている。最高湿度は70%、最低湿度は10%となっている。

(3) 日射

図-5に1997年のジブティにおける月別の日平均日射量変化を示した。

最大日射量と最小日射量はそれぞれ4月、1月で発生している。このグラフからわかるようにジブティの1月の最小日射量は、概ね東京の8月の日射量と同じとなることから、ジブティの日射も非常に多いといえる。

又、1日の日射量の変化は気温との対応が見られ、およそ午前6時頃の日の出ごろから日射はあり、太陽の南中時刻の13時頃にピークを迎える。

(4) 降雨

図-6に年降雨量変化を示した。年降雨量は平均で138.3mm(1901～1990)である。これは東京の値に比べおよそ1/10である。一方年降雨量の変動率を表-1に示す。年降雨量の変動率は東京に比べて4.5倍と大きい値を示している。続いて、月別降雨量を図-7に示した。各月の降雨は10月～4月に10mm以上の降雨がみられ、年間を通じて雨が少な

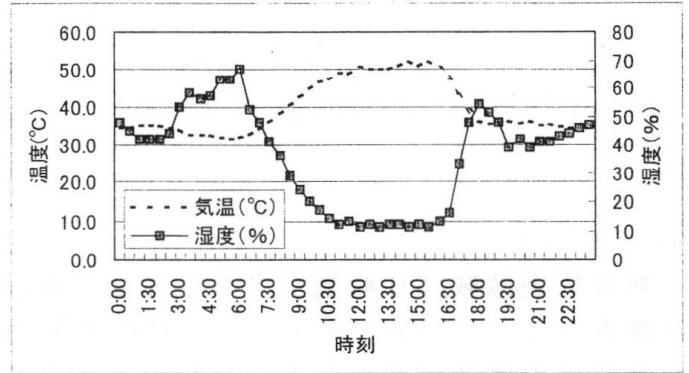


図-3 1日の気温と湿度の関係
Douda(1998年8月7日)

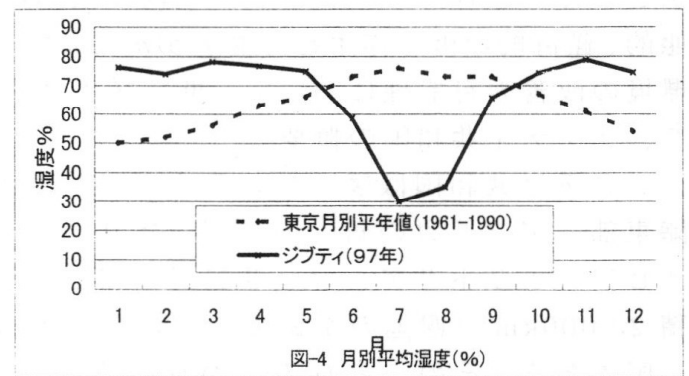


図-4 月別平均湿度(%)

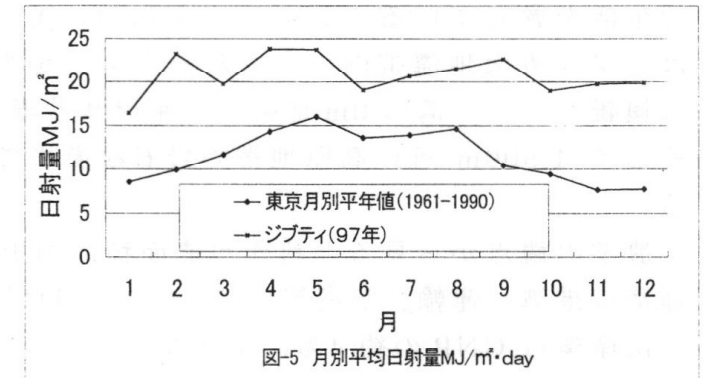


図-5 月別平均日射量MJ/m²・day

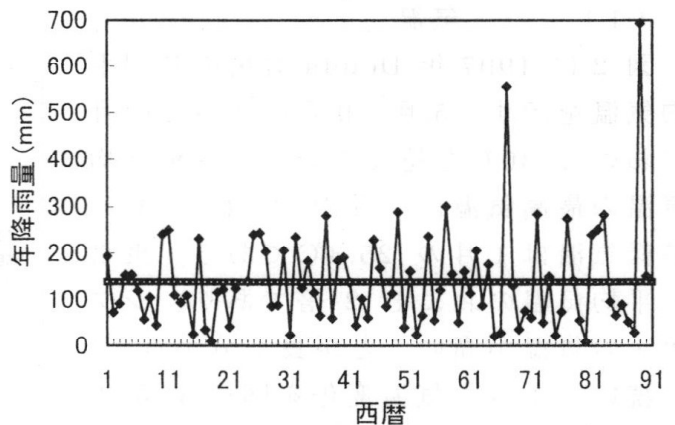


図-6 ジブティセルペント年降雨量変化
(1901～1990)

表-1 年降雨量の変動率

	最大年降雨量 (mm)	最小年降雨量 (mm)	年降雨量の最大最小の差 (mm)	平均年降雨量 (mm)	変動率 (%)
ジブティセルペント					
(1900~1991)	692.9	9.5	683.4	138.3	78.0
東京					
(1961~1990)	1,937.5	879.5	1,058.0	1405.3	17.4

いながら月別にみると雨期と乾期に2分される。

同様に、月別降雨量の変動率を求めてみると、東京ではほとんどの月で50%以下であるのに対し、ジブティでは200%以上である。このようなことからジブティの降雨は変動が激しいことが明かである。

続いて、日降雨量についてみる。1990年のPK20地点での月別降雨量分布のうち、降雨量の最も多い月である2月の日降雨量を図-8に示す。

2月の総降雨量は195.4mmであり、そのうち189.8mmが2月16日に降り月間降雨量のほとんどが1日に集中している。さらに2月16日の189.8mmは1990年の総降雨量の53%に相当し、これより1年の降雨量は年数回の降雨によるものであることがうかがえる。

したがって、ジブティの雨は、1年のうちの短期間に集中し、降れば土砂降りの水食を伴う雨となり、熱帯乾燥地特有の雨の降り方を示す。

(5) 水面蒸発量

ジブティの日平均気温より水面蒸発量の推定を行ったのが表-2である。ジブティセルペントにおいて年間でおおよそ3,000mmに達している。降雨の138mmと比べて過剰であり、ジブティの環境が苛酷であるということがよく知られる。

最も蒸発量が大きいい月は7月の358.1mm、小さい月は2月の183.1mmとなっている。これは同国の雨期、乾期と関係していると思われる。

3. 2 土壌特性

図-9は気温と各深さにおける地温を示したものである。地温は気温に比較してはるかに高い温度を示し、地表面の温度は70℃に達している。このように土壌自体、高度の乾燥を引き起こしていることが知られる。そのため土壌の物理性も熱帯

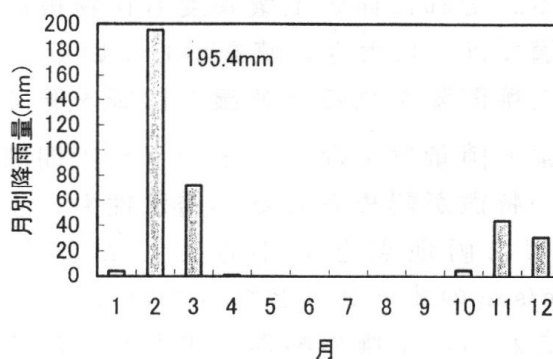


図-7 PK-20地点の月別降雨量 (1990年度)

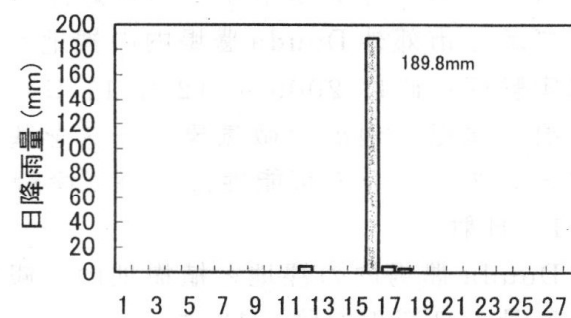


図-8 PK-20地点の2月の日降雨量 (1990年度)

表-2 Djibouti Serpentの月および年間蒸発散量 単位:mm

Djibouti Serpent	
1月	195.5
2月	183.1
3月	221.7
4月	240.3
5月	282.8
6月	321.1
7月	358.1
8月	348.0
9月	301.4
10月	265.5
11月	220.7
12月	186.6
年間	3,125.1

Djibouti Serpent 標高:5m

乾燥地土壌特有の物理性を表しているかと推察される。図-9,10,11は海岸平野土壌(Douda)、又は、丘陵地土壌(PK20)の土層断面における基本的物理性、透水性及び間隙特性を示したものである。

土壌水分は極端に少なく、土壌の乾燥密度は大きく、土はよく締まっているのが理解できる。それに伴い土壌硬度も作物根群伸長に不適なほどに大きい値を示している。

土壌間隙を見ると乾湿の影響を強く受け、土壌間隙量は少なく、そのうえ大間隙が少ない特徴が認められる。透水性も、土性のわりに両地点とも小さく、およそ 10^{-4} cm/sec のオーダーとなっている。

これらの土壌の物理性をまとめてみると、ジブティの土壌は砂質土、粘性土に関わらず構造が貧弱で、液封現象を生じ、不透水性土壌状態にあることが知られる。

4 アグロフォレストリーの可能性

ジブティ市郊外 Douda 農場内の裸地と植樹地内に実験区を設け 2000 年 12 月 17 日に測定した日射、気温、地温の微気象データを基にアグロフォレストリーの可能性について検討した。

4.1 日射

Douda 農場内の裸地と植樹地内で観測された日射量の日変化を図-13に示す。植樹地内で日射量は裸地と同様に、11時ごろまで上昇するが、その後日射量は大幅に低下

している。その時の最大値の減少率は約 1/3 となり、この結果が気温・地温に影響を与えていると思われる。

4.2 気温

図-14に裸地と植樹地の気温の日変化を示した。日射の強い日中において植樹地の気温が裸地に比較して低くなっており、樹林による温度の改善が認められた。そして、朝 6 時から夕方 6 時までの 10 分ごとの温度を積算した温度差は 210°C となった。

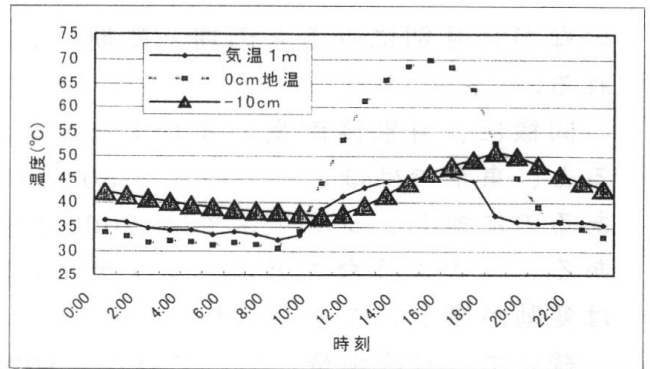


図-9 ジブティの地温の日変化(1997年8月17日)

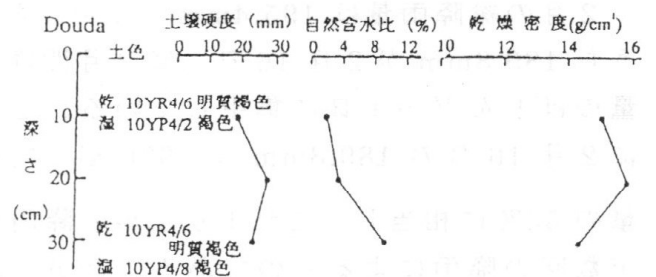


図-10 ジブティ土壌の基本的物理性

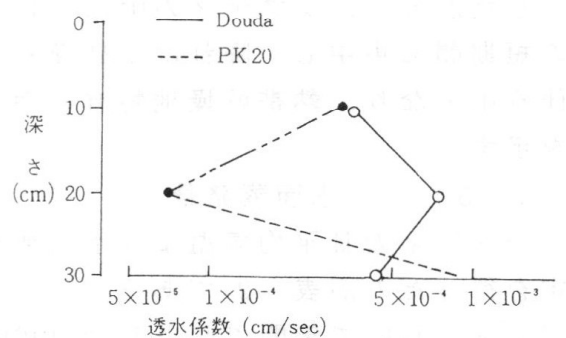


図-11 深さ別透水性係数

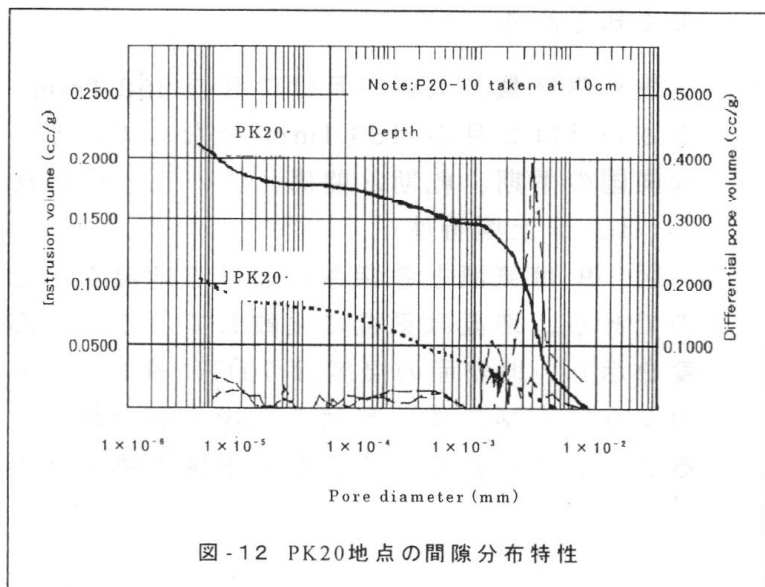


図-12 PK20地点の間隙分布特性

4.3 地温

図 - 15 に裸地と植樹地における地温の日変化を示した。図に示すように植樹地は樹木内の日格差を小さくし最高地温を下げる事ができ、根の生育環境にとって良好となっている。又、朝6時から夕方6時までの10分ごとの温度を積算した温度差は 397℃低い値となっている。

4.4 不快指数

裸地と植樹地についての生産環境をより明確に比較するための一つの参考指標として不快指数を求め検討を行なった。図 - 16 に示すように不快指数の値は植樹地内の方が小さい値を示しており、不快感の緩和といったことが顕著にみられる。このことから樹木の微気象緩和効果が認められアグロフォレストリーの可能性がうかがえる。

5. まとめ

ジブティ共和国におけるアグロフォレストリーの可能性について自然環境を通して検討を行なった。

その結果、日射量は大幅に低下し、それに伴ない、気温、地温も相当低下を示したことから、ジブティにおいてアグロフォレストリーの可能性があることが明らかになった。アグロフォレストリーには様々な形態があるので、今後はその地の風土にまっちした形態、合理的設計法などを明かにしていくことが大切である。

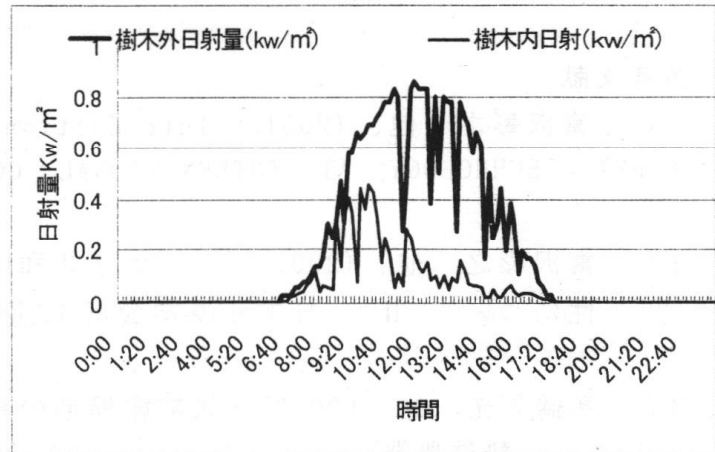


図 - 13 裸地と樹林地の比較 (2000年12月17日)

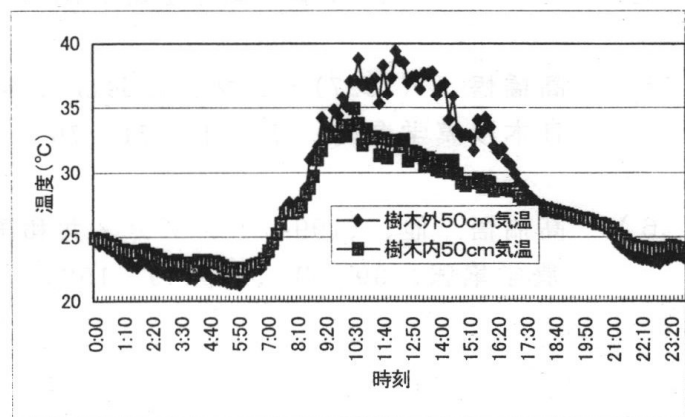


図 - 14 裸地と樹林地の気温の比較 (2000年12月17日)

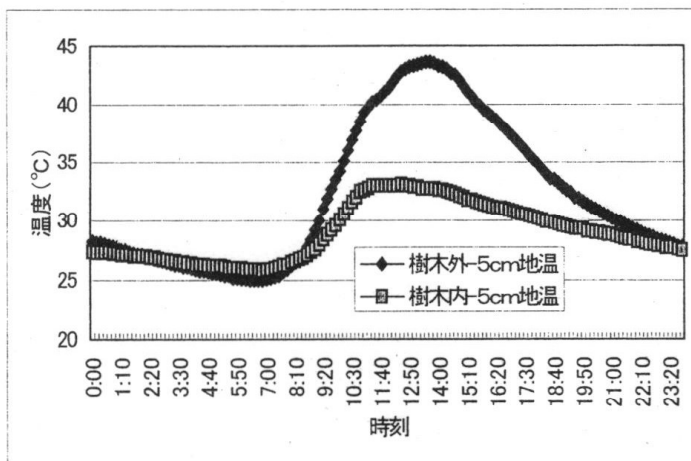


図 - 15 裸地と樹林地の地温の比較 (2000年12月17日)

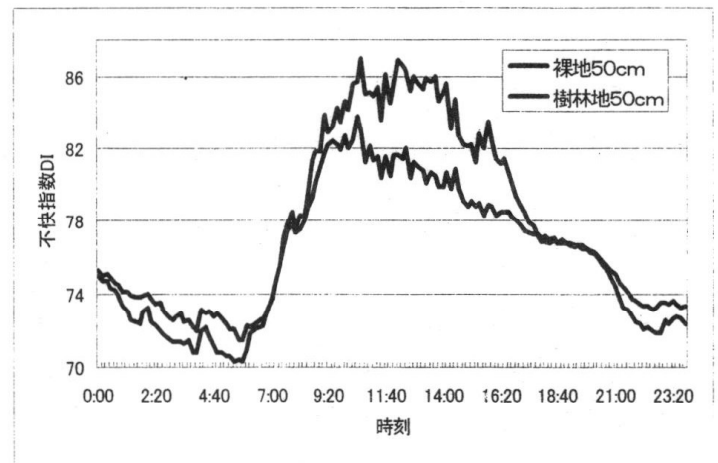


図 - 16 裸地と樹林地の不快指数の比較 (2000年12月17日)

参考文献

- 1) 富沢彰之 他、(2001) : Introduction of Agroforestry System in Djibouti
DESERT TECHNOLOGY VI INTERNATIONAL CONFERENCE、P39 - 40
- 2) 富沢彰之 他、(2001) : ジブティ共和国におけるアグロフォレストリーの可能性について(Ⅱ)、日本沙漠学会第12回学術大会 講演要旨集 p61 - 62
- 3) 高橋久光 他、(2000) : 熱帯乾燥地の緑化と農業—ジブティ共和国を事例として—、熱帯農業、44(3) p p198 - 205
- 4) 高橋悟 他、(1998) : ジブチ共和国における水面蒸発量の推定と緑化への利用について、日本沙漠学会誌、8(1) p27 - 35
- 5) 高橋悟 (1997) : ジブチにおける砂漠緑化 - Water harvesting による実践
日本沙漠学会誌、7(1) 71 - 76
- 6) 高橋悟 他、(1994) : ジブティ共和国南部の降雨特性について、東京農業大学
農学集報、39(3)、pp149 - 158

ジブティにおける乾燥地緑化技術の検討

福永健司（東京農業大学）

1. はじめに

21世紀は地球の環境保全と食糧生産の問題が世界共通の重要課題となるのは確実である。そこで、東京農業大学では創立100周年記念事業の一つとして、また次の100年に向けて農大が取り組むのにふさわしい研究として、北東アフリカの小さな国、ジブティ共和国を対象に1991年秋から「沙漠緑化へのチャレンジ」と題したプロジェクト研究をスタートさせ、現在に至っている。

本研究の目的は、沙漠化地域の広大な荒廃地に森林を再生し、急速に進んでいる地球環境の悪化を防ぐこと、同時に、森林の働きによって農業などの生産環境を整えることである。“緑は人間によって造られるものではなく自然が造るものであり、その自然の回復に対して手助けする行為が本来あるべき緑化である”という基本的な考え方にたち、自然が本来持つ復元力を高度に活用して、「森林と農業の共存を図るための技術体系を確立する」ことを目指している。

2. ジブティの自然環境と植生

ジブティ共和国はアフリカ大陸北東部、北緯10～11°の間に位置し、紅海－アデン湾、エリトリア、エチオピア、ソマリアに囲まれた四国の約1.2倍ほど(23,000km²)の小さな国である。地質的にはアフリカ大地溝帯の北端にあたり山地帯の多くは玄武岩が主体となっている。海岸平野では隆起サンゴ礁などからなる基岩が現れ、石灰質土壌が多くなる。標高はムサ・アリ火山の2,015mを最高とし、大地溝帯中央部の陥没帯に位置するアッサル湖の-155mまで、2,000m以上の標高差がある。

気候区分は半砂漠気候に相当する。ジブティ市の気温は月別平均気温で5～9月が38℃、10～4月は25℃である。降水量は年平均で155mmと非常に少ない。月別降水量は乾期にあたる5～9月は10mm以下で、特に6月は0mmに近い。雨期にあたる10～4月は10mm以上の降雨がみられる。ただし、乾燥地特有の降雨特性で時間的・地域的較差が大きく、1年で10mmに満たない年もあれば1日で何百mmも降る年もあったり、大洪水が発生した場所から数10km離れているだけでまったく降雨がなかったりする。一方、蒸発量は年間で2,000mm前後にもなる。

以上のような自然環境下にある国土の多くは「岩石沙漠」と呼ぶにふさわしい山地、平原地帯で、長年の間に降雨による土壌侵食が進み、現在では取り残された玄武岩の転石が山地や平原全体を覆っている。転石下の土壌は粘土分が多く透水性が不良である。このため、雨水の大半は地表流となって流出し山地全体の乾燥を引き起こしている。また、浸透しない雨水はワジに流れ込み、大水となって平野部に洪水害をもたらしたりもする。植生はワジの両側に群生し、その周辺や氾濫原は灌木が点在しているが地表面には草がほとんどみられない。岩石沙漠地帯の多くはサバンナ状の形態をなしており、現存植生の種類は極めて少なく密度も低い。多肉質の植物も見ることができる。なお、北部山岳地の標高1,500m付近には降雨の比較的多い地域がわずかに存在し、そこでは疎林状の森林が形成されている。

このほか、山地帯の合間に、わずかではあるが山地から流亡した粘土分の多い土壌が集積し

た「土沙漠」がある。ここでは土壌の透水性や通気性が悪いことなどから植生は乏しい。ただし、流入水が一時的に貯留される道路盛土や土手状地形の上流側には樹木が生育している。

3. 乾燥地緑化技術の基本的な方針

悪化する地球環境を改善し、しかも急増する人間に対応して食糧を供給するには、厳しい自然環境下にある沙漠化地域・乾燥地域に森林を再生し、農業生産が行える環境を広げていく必要がある。しかし、食糧増産のために、従来の高エネルギー投入方式の農業を続けていけば、さらに地球環境の悪化や土地の不毛化を促進することは目にみえている。これからは、乾燥地の生態系を大きく変えることなく生産を上げる手法、自然の復元力を活用する手法、また、たとえ低い生産量でも確実に永続できる手法、様々な立地条件に適用できる手法、将来現地の人々が主体となって継続できる手法が必要と考える。それが、「森林と農業との共存・共生」であり、森林の造成によって農業生産のできる環境を造ることが、乾燥地における緑化のあり方と考える。

そこで、乾燥地の生態系に順応し、その厳しい環境を自ら改善していくことのできる群落、つまり“乾燥地の中で自立できる群落”造りを目指す。そのためには、①自然な緑の導入を基本とする、②自然回復の順序を尊重する、③自然に近い方法で導入するなど、自然が本来持っている再生力が最大限発現されるよう手助けすることが基本的な姿勢として必要であり、強引な手法ではなく自然の生態系の枠の中で植物を導入し永続させることが重要と考える。

具体的には、乾燥地での緑化は、播種工(種子から導入する方法)による植生導入を基本とし、先駆樹種の積極的な使用、発芽・初期生育段階の厳しい環境を緩和し改善する手法(緑化基礎工)の併用などが必要である。立地条件によって水確保の難易や塩類集積のしやすさなどが異なるので、緑化はこの立地条件ごとに対策を立てる必要があるが、下記①～④などの植物の生育環境を整備することが必須であり、共通のポイントとなる。特に、植物の導入は播種工を中心に考えているので、導入初期の発芽・初期生育段階での生育環境の整備に重点をおく。

- ① 土中水分の保持：土壌の透水性や保水性の改善、土壌水分の蒸発の抑制、結露による空中からの水分補給、地下水水分の上昇の促進などを考える。
- ② 地温上昇の緩和：昼間の温度上昇抑制、夜間の保温など、植物の生育可能な温度範囲内に変動を抑える、つまり生育期間(植物の生産活動時間)の増加を図る。
- ③ 塩類集積の抑制：地表からの水分蒸発抑制、地下水水分を地表面まで上昇させない、地上からの水分を速やかに浸透させる、灌水の制限(無灌水もしくは微量灌水)などを考える。これらは①、②と大いに関係がある。
- ④ 家畜の食害軽減：山羊や羊による発芽・生育初期の食害軽減、ある程度生育した後に根こそぎ食べられるのを防止することなど、つまり植生再生力の保持を図る。

また、乾燥地の劣悪な環境を改善する機能が高い先駆樹種を主体に導入することを基本とし、さらに立地条件に合わせて、薪炭材や家畜飼料、人間の食糧として利用できる植物などを取り混ぜ、多様性に富み、多機能、多用途な群落づくりを目指す。導入植生が定着し、土壌透水性の改善や有機質土壌の形成など、土壌環境が改善されてきた後は、果樹や本格的な森林づくりができる樹種などの導入も考えられる。

このほか、緑化基礎工や植生工の各種資材は、現地での調達性を考えると同時に自然の回復力を引き出すのに有効なものを用いる。また、リサイクル資材も大いに活用する。播種工を主

体に考えると、特に、沙漠など乾燥地では発芽直後の乾燥・高温害や病虫害など生存に関わる障害が多いので、稚苗時の枯損防止や初期生育促進のための資材の適用性を積極的に検討する。

4. 乾燥地緑化の手法、使用資材の一例

(1) ストーンマルチ工法

天水のみ、または少量灌水のみによって植物の生育を期待する緑化基礎工の一つである。岩石沙漠地帯やワジ周辺に無数に転がっている人頭大の石を地表面に敷き詰め、石と石の間で植物を育てることを考えた。機械化農業では石は邪魔者として扱われているが、石には石間や石下の土壤水分の蒸発抑制、結露による空中からの水分供給、地表面の侵食防止、地温上昇の緩和、飛砂・熱風などからの稚苗の保護、家畜の食害軽減や植生復元力の保持、植生の侵入促進などの効果が期待できると考えている。

これまで、ストーンマルチは土壤水分の保持、地温上昇の緩和に大きな効果があることが確認されている(図 1, 2)²⁴⁾。特に、地表面からの水分蒸発を抑制する効果が高く、少ない降雨、灌水でも植物が利用できる水分を十分保持できることがわかった。また、3月に現地では石の下の露点を測った結果、午前中は結露していて、空中から水分が供給されることが確認された。

導入植物の生育性についてみると、日本国内でのヤマハギを用いた実験では、天水条件下で播種約 100 日後にストーンマルチ区の樹高が対照区の 2.5 倍となった(図 3)²⁾。ジブティにおける灌水条件下での現地実験でも、ソバの草丈は発芽直後から差が開いて発芽後 1~2 週間で対照区の 1.5 倍前後になり、植物体の緑色が濃いなど肉眼でも明らかに活力の違いがみられた(図 4)¹⁾。また、週 2 回灌水の条件下でアカシアなどマメ科木本類では播種後 3 ヶ月で対照区の 1.3~1.9 倍、1 年 3 ヶ月後には 2 倍以上の樹高になるなど、ストーンマルチの生育促進効果が確認された。

このほか現地では、3 年 3 ヶ月間にわたる微灌水条件下(初期 1 年ほどは無灌水)のストーンマルチ区で、マメ科木本類のギンネム(*Leucaena glauca*)は樹高 4m ほどに生長した(図 5)。週 2 回灌水の区画では播種後 2 年 3 ヶ月間で、ギンネムの樹高 8.0m を筆頭に順調に生育が続いている(図 6)。

以上のように、ストーンマルチ工法を用いれば、わずかな水分供給でも植物が十分育ち、また、水分供給状態が同じでも裸地に較べて生育が旺盛になることがわかった。畑地などではこれまでより灌水量を大幅に減らしても収量を上げることが可能と考えられ、しかも地表面への塩類集積の抑制効果も大きいと思われる。家畜の食害低減など多くの効果が期待でき、早期の樹林化や飼料・作物類の収量増加は十分可能であろう。

(2) 初期生育促進を図るリサイクル資材

植物は、外力(障害)に対して抵抗力の弱い稚苗期に乾燥や高温が続くと枯損しやすく、これが成立の可否に大きく関わる場合が多い。これを回避するには、これまでの実験結果からも明らかのようにストーンマルチのような物理的な生育環境改善方法を用いることが有効であるが、さらに各種の土壤改良資材などを併用してより初期生育を速めることを考えた。

これまで、各種の資材を検討してきたが、その中で有望なものの一つに鶏糞、食べこぼし飼料、おが屑など鶏舎残滓の炭化物粉がある。これまでの実験の結果、鶏舎残滓を原料とする炭化物粉はマメ科木本類の初期生育促進に大きな効果があることが認められた(図 7, 8)³⁾。また、木質系の炭化物粉を同量混入したものより根粒着生や生育促進効果が非常に高い結果となっ

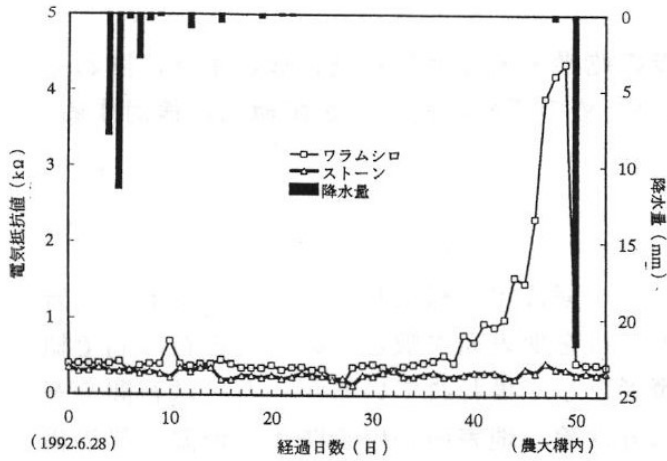


図1 ストーンマルチの保水効果(東京農大構内)

ストーンマルチ区では無降雨状態が続いても長期間水分を保持する。

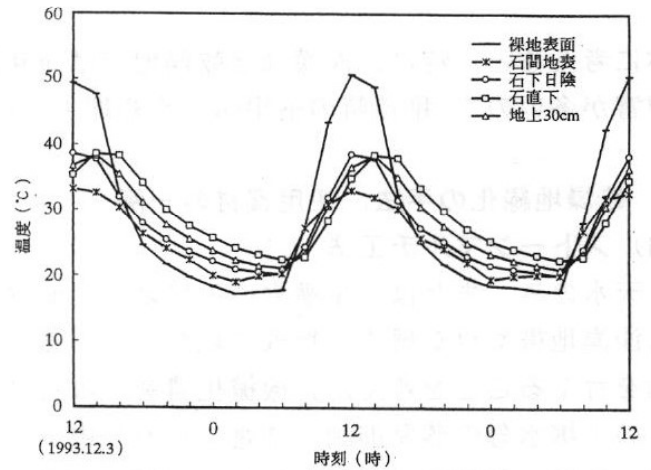


図2 ストーンマルチの地温上昇抑制効果(Djibouti)

ストーンマルチ区の地表面は裸地表面よりも昼間の温度上昇が緩和される。

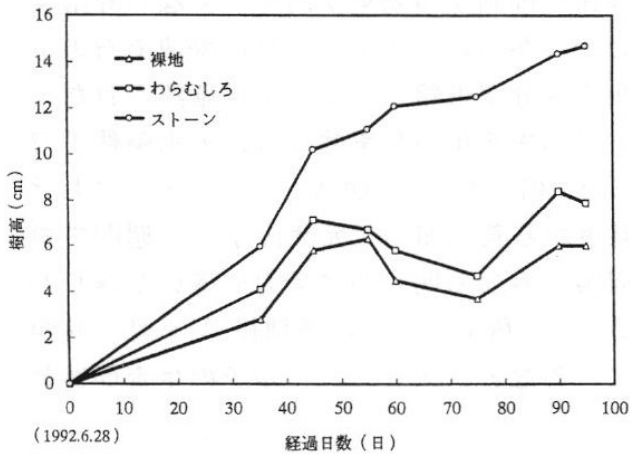


図3 ストーンマルチのヤマハギに対する生育促進効果(東京農大構内)

ストーンマルチ区は裸地区やわらむしろ区よりも生育が旺盛である。

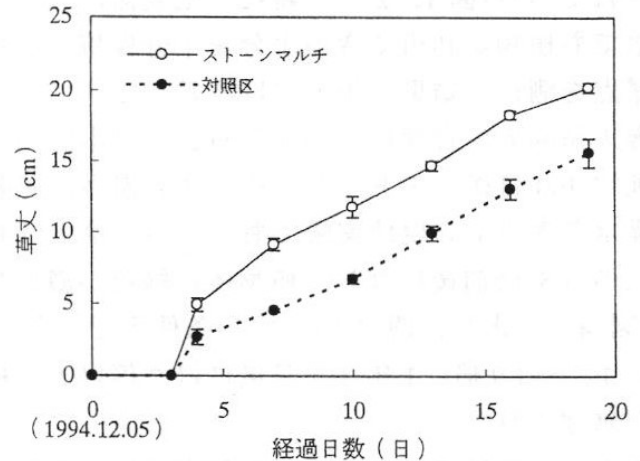


図4 ストーンマルチのブータン産ソバに対する生育促進効果(Djibouti)

ストーンマルチ区は裸地区よりも発芽直後から生育が旺盛である。

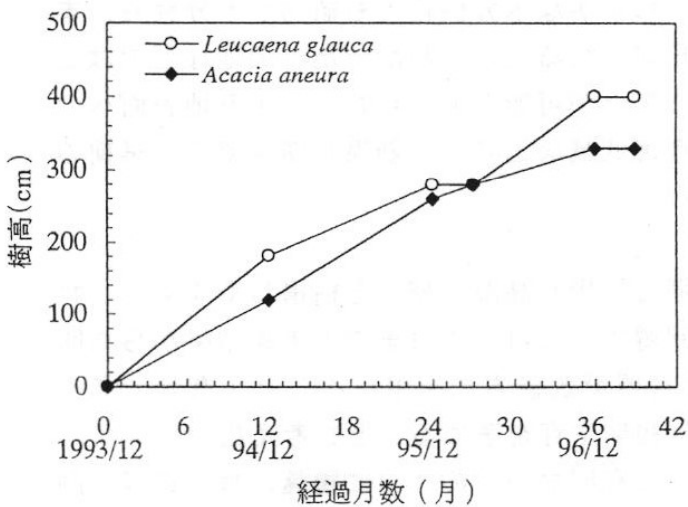


図5 微灌水条件下のストーンマルチ区における導入樹木類の樹高生長(Djibouti)

ほとんど灌水がない状態でもストーンマルチ区では導入樹木が育つ。

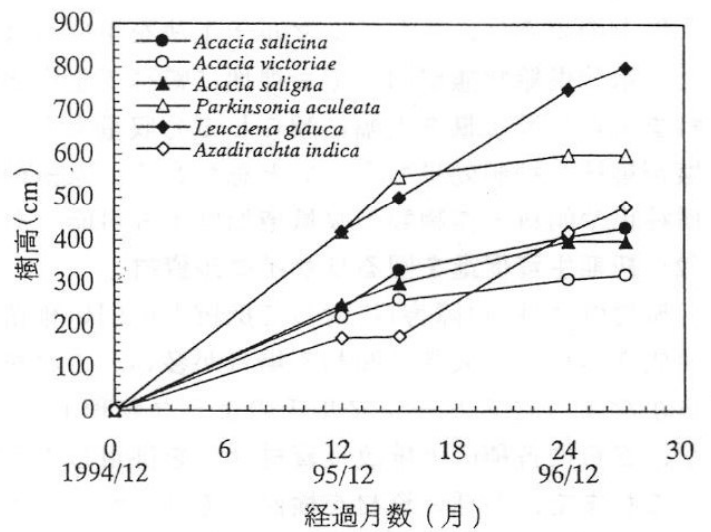


図6 適灌水条件下のストーンマルチ区における各種樹木の樹高生長(Djibouti)

適度な灌水によりストーンマルチ区では導入樹木が旺盛に生育する。

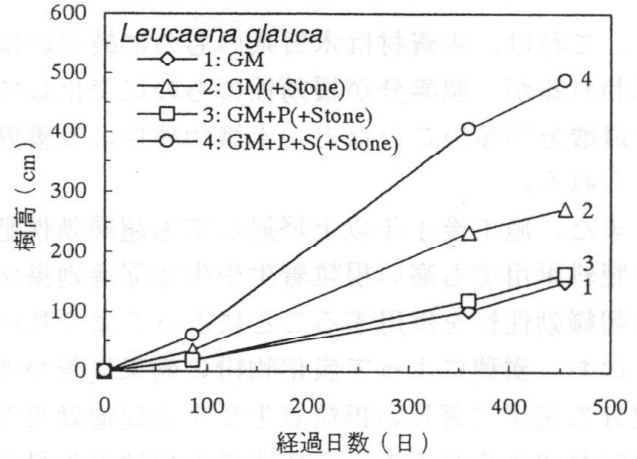
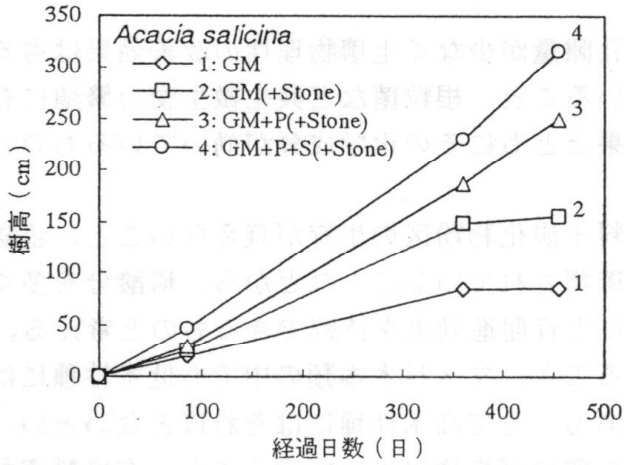
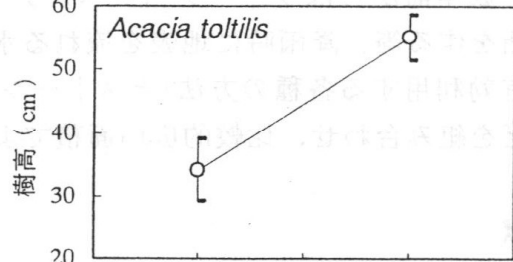
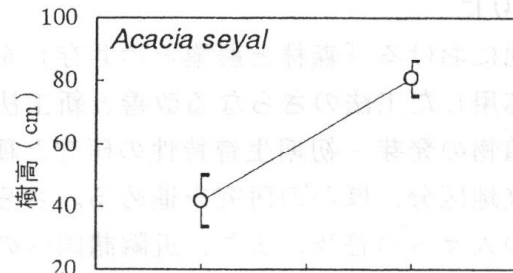
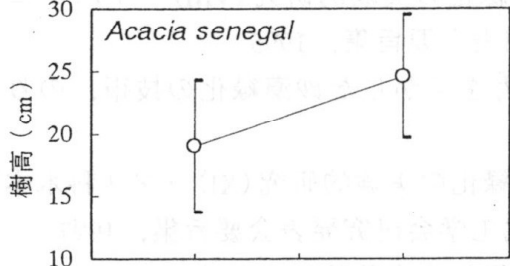
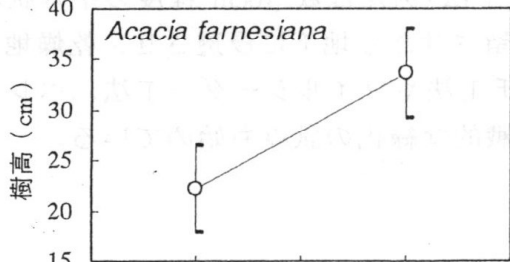
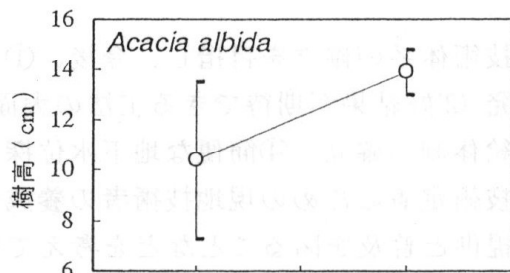


図7 施用資材とマメ科木本類の生育(1)

(Djibouti, 1995/12/13 播種)

Stone: ストーンマルチ,
GM: 超緩効性肥料 100g/m², P: ピートモス 5l/m²,
P+S: 炭化物粉(10%wt)混入ピートモス 5l/m²



GM (+Stone) GM+P+S (+Stone)
施用資材

図8 施用資材とマメ科木本類の生育(2)

(Djibouti, 1996/12/18 播種, 1997/3/13 測定)

Stone: ストーンマルチ, GM: 超緩効性肥料 100g/m²,
P: ピートモス 5l/m², S: 炭化物粉 0.5l/m²

た。これは、本資材は木質系のものに較べれば孔隙量が少なく土壤物理性の改善効果は劣ると思われるが、窒素分が緩効性のものに変化していること、根粒菌など共生微生物の繁殖に有効なリン酸分が多いことなど、土壤物理性の改善効果とともにその化学成分が効いているものと考えられる。

また、施工後1年以上経過しても超緩効性肥料＋炭化物粉区の生育が衰えないこと、超緩効性肥料単用でも高い根粒着生や生育促進効果が確認されていることなどから、リン酸分を多く含む超緩効性肥料を併用することによってより長期に生育促進効果を持続できるものとする。

なお、樹種によって炭化物粉の効果に差があること、マメ科木本類の中でも低木性種にはリン酸分の施用に著しい根粒着生や生育促進効果がある一方で高木性種にはそれほどないといった傾向が認められること、リン酸量と根粒着生量との関係が樹種によって違うこと、有機質資材でなくともリン酸分に富んだ化成肥料の施用でマメ科木本類の根粒着生および初期生育促進効果が認められていることなどから、今後、よりきめ細かい検討が必要であろう。しかし、地球規模での資源の循環や現地資材の活用などの観点から、動物性炭化物粉の利用価値は高いものとする。

5. おわりに

乾燥地における「森林と農業との共存」を図る技術体系の確立を目指し、今後、①これまで開発・応用した工法のさらなる改善と新工法の開発、②好結果が期待できる工法の大面積施工、③使用植物の発芽・初期生育特性の研究と種子供給体制の確立、④簡便な地下水位探査方法の確立と立地区分、ほかの研究を進める。さらに、技術定着のための現地技術者の養成や農民など一般の人々への普及、また、近隣諸国への情報提供と普及を図ることなどを考えている。

なお、数年前からはウォータハーベスティング手法(例えば数10cm程度の半月状堤防や溝など凹凸を作る等、降雨時に地表を流れる水を貯留させたり地下に浸透させ、乾燥地の少ない降水を有効利用する各種の方法)とストーンマルチ工法やソイルシーダー工法、ペレット種子播工などを組み合わせ、比較的広い面積でより実戦的な緑化の試みも始めている。

引用文献

- 1) 福永健司ほか：Djiboutiにおける砂漠等乾燥地緑化の実験的研究(VIII)ーソバ・ニガウリ等作物類の導入ー，第26回日本緑化工学会研究発表会要旨集，1995
- 2) 福永健司：砂漠緑化へのチャレンジャー自然の力を活かした砂漠緑化の技術，のり面と環境12，(社)全国特定法面保護協会，1995
- 3) 福永健司ほか：Djiboutiにおける砂漠等乾燥地緑化の実験的研究(XI)ーマメ科木本類の初期生育促進資材に関する検討ー，第28回日本緑化工学会研究発表会要旨集，1997
- 4) 山寺喜成ほか：Djiboutiにおける砂漠等乾燥地緑化の実験的研究(III)ーストーンマルチ工法による植生導入実験ー，第24回日本緑化工学会研究発表会要旨集，1993

農耕地の気候緩和に関する予測法と体感表示による指標化

井上君夫（農技研機構・中央農業総合研究センター）

はじめに

自然科学的メカニズムに起因する気候緩和機能とは、一般には市街地より水田地帯で涼しさを感じたり、風のないビルの谷間が温かく感じることをいうが、気候学的には裸地と植被面上の気候環境の差異として評価される。微気象や局地気象といった異なる時・空間スケールの気候環境は植被の有無や形態等の作物要因、土壌の種類や水分状態の土壌要因、都市や田園上の境界層形成やエネルギー交換に関する乱流要因等との相互作用によって作出される。

この気候緩和効果として温度抑制効果、日陰効果、減風効果や保湿効果が考えられ、これらの研究には過去の気象データを使ったり、実際に観測を行う調査解析的手法と流体力学モデルに基づく数値実験的手法が考えられる。前者は多くの時間と労力を要し再現性には乏しいが、新たな結果が得られる可能性がある。後者は、これに対して気象現象を完全に再現することはできないものの土地利用の改変を想定した数値実験が可能であったり、温度抑制効果に及ぼす要因分析が容易に行える。

本研究では数値実験的手法による気候緩和効果の予測とそれらの恩恵に預かる人間を基準にした指標化について検討する。しかしながら、混在する地物上に発達する接地境界層を統一的に扱う乱流理論がなかったり、微気象から局地気象まで扱える三次元数値モデルが十分でないのが現状である。ここでは実際の土地利用下の気候緩和効果に及ぼす影響を明らかにするモデル開発とシミュレーション及び今後の問題点と展開方向などにふれながら話題提供をする。

1. 大気現象のスケールと接地境界層の発達過程

図1はよく引用される Smagorinsky (1974) の様々な大気現象の卓越する時間・空間スケールと乱流スケールを表現している。一般に植物群落内の乱渦は小さく高周波成分が多いが、地上から遠ざかるにつれ大きく低周波成分が多くなる。実際には、大気現象のスケールも乱流のスケールも離散した存在ではなく、連続した混沌としたものと考えられる。

図示した代表的な時・空間スケールは接地境界層内の風場分布や気温分布を特徴づけ、そこには特有の各種物理量 (V, T, Z_0, L など) が存在する (Monin・Obukhov, 1954)。図2は異なる地表面上に形成される境界層を概念図で表したものであり、大気と地表面との熱や水蒸気の輸送・交換はこのような諸スケールに基づいて記述されなければならない。しかしながら、非均一な地表面上の乱流研究は進展しておらず、大規模な乱流観測から理論構築に及ぶこの分野の研究成果が待たれる (Mason, 1988)。

2. 調査解析的手法による影響評価

図3は気温日変化の地上から 800m 上空までの季節別の状態を表している (Devyatova,

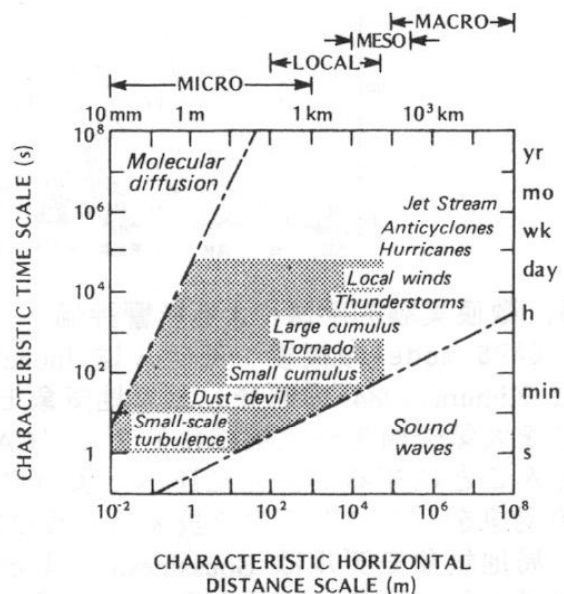


図1. 大気現象の時間・空間スケール

1957)。これらは観測タワーなどの長期観測によって始めて得られる結果であり、明らかに気温の日別、季節別、高度別の変化を捉えている。しかし、この図から気象現象の成因を明らかにすることは困難であり、地上での微気候観測等を行って変動要因を明らかにすることが必要となってくる。

また都市気候の研究においては、都市のヒートアイランド現象が1950年代に観測され、都市キャノピー層内のヒートアイランドの成因とされる事項が整理されている(Oke, 1976)。しかし、それらを取り入れた信頼性の高いモデルは開発されていない。最近では、温暖化によるクーラー使用の増大等による新たな都市気候現象が表れてきている(藤部, 1998)。金子・日野(1996)はAMeDASを使ってNDVIと最高気温との関係を明らかにしているが、ここではデータに含まれる海陸風の影響を消去し都市の昇温程度を示している。また、小元・鱧谷(1979)は累年気候データからの都市効果の消去法を提案している。リモートセンシング手法も同様であるが、瞬間的な観測事例の場合は代表性に乏しくなり、累年気候データの場合は海陸風などの大きな気象現象が影響してくるため、それらを如何に消去して結論を導き出せるかが焦点となる。

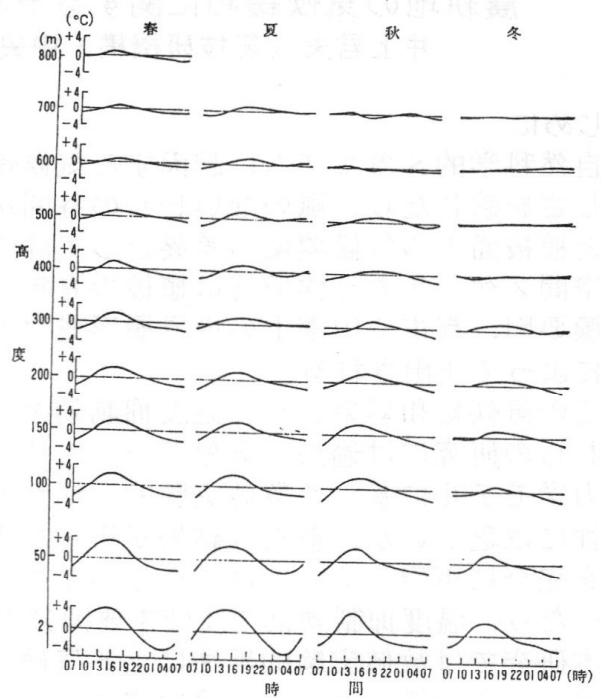


図2. 季節別の気温日変化(吉野, 1990)

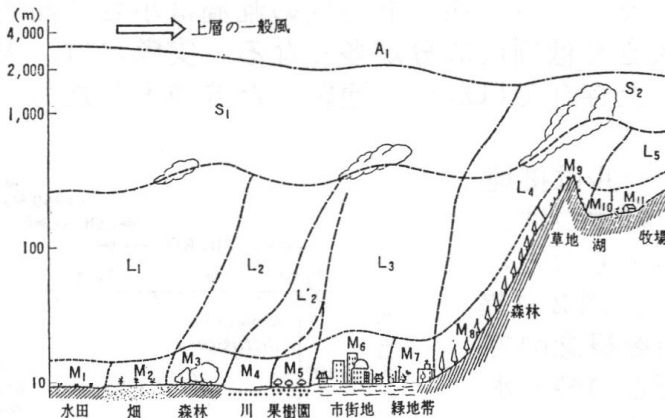


図3. 微気候・小気候・中気候・大気候の概観(吉野, 1961)

3. 数値実験的手法による影響評価

CAPS modelの概要：モデルはInoue(1985,1990)の開発した水稻・畑作物微気象モデルとKimura(1984)の開発した局地気象モデルの結合による三次元非定常モデルである。これを大気-植生-土壌結合モデル(CAPS model; Coupled Atmosphere-Plant-Soil Model)と呼ぶことにするが、先に述べたように植生群落の微気象レベルから局地レベルまでの気象現象を一つのモデルで扱えるようにするのが本研究のねらいである。

局地気象モデルはBoussinesq近似と静力学平衡を仮定した方程式系から構成され、これは大気の厚さに比べて薄い海陸風のような対流循環を表すのに適している。座標は地面に沿った非直交座標系(Z*系)を使い、一連の方程式は中央(前方)差分と松野ス

キームを使って差分方程式に書き換えられた。一方、微気象モデルの乱流場に関しては level 2 の乱流 closure model を適用したが、熱収支に関しては1次元モデルを基本とし、これを群落内の格子点上に展開した。植生群落が一であればほぼ問題はないと考えられるが、植生が異なる場合、群落内の横方向の熱や水蒸気の輸送が厳密に評価されていない。群落微気象モデルの拡張が必要である。

CAPS model のシステム構成および座標系と鉛直方向の格子分割を図4に示した。上層大気は Kimura (1984) と同様に接地境界層、M層、自由大気の各層で構成し、下層大気は植被層、水層、土壌層の3層で構成した。水田、沼地、河川については3層モデルが適用され、その他の土地利用については植被層と土壌層の2層モデルが適用された。

図4の植被層には高さ $Z^* = 1\text{ m}$ のモデル化された群落を想定し、数値計算では8分割による層別計算が行われた。全領域に関して、鉛直方向 (Z^*) には45分割 ($k=1 \sim 46$)、X-Y方向には各々19分割 ($x, y=1 \sim 20$) とした。

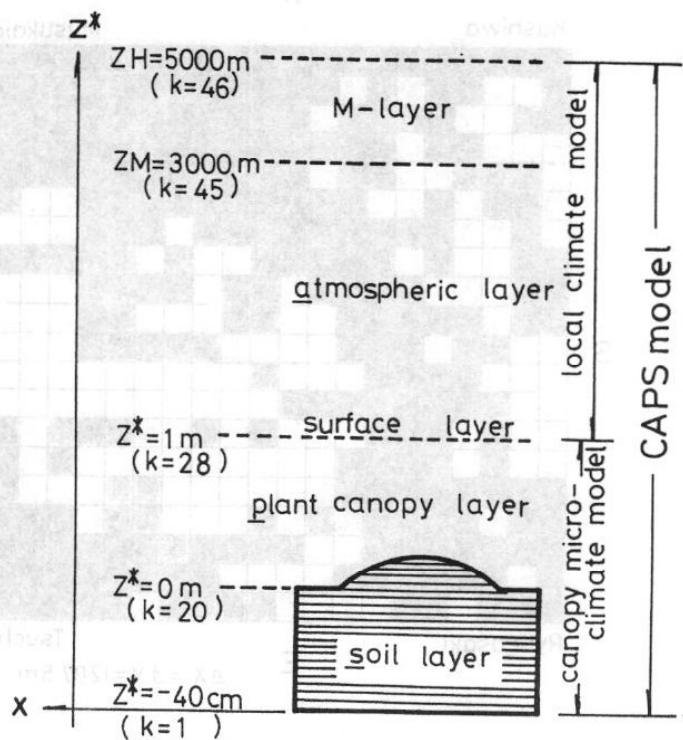


図4. CAPS model と座標系

地表面の取扱い：土壌水分を含む地表面のパラメタリゼーションは、熱収支配分を決定するだけでなく、植生のもつ気候緩和効果の信頼性に係わる重要な物理過程の一つである。地表面の取扱いは水田のような灌水状態と畑地のような非灌水状態では全く異なる。前者の場合、土壌は飽和状態にあることから土壌水分を求める必要はないが、平衡水温と地温分布を水体の熱収支式および土壌の熱伝導方程式から推定しなければならない。後者の場合は非飽和土壌であることから Philip (1957) の不飽和土壌モデルを使った。

土地利用分類：どのような気象現象や土地利用状況をシミュレーションするかによって計算領域や格子間隔が決まってくる。ここでは月単位で評価できる最小の空間スケールをアメダス観測網に匹敵する約26 km四方と推定し、その対象地域は平坦で主に水田地帯からなる利根川流域の土浦—水海道—柏—龍ヶ崎が適当であると判断した。また、その地域の北東域には気象研究所があり、この気象観測用鉄塔 (213m) で得られる高層気象データが境界条件として活用できる利点もある。計算に用いた土地利用分類は図5に示すとおりであり、全体に占める水田の割合は約36.6%、畑地が約27.3%と土地利用型農業がここでは展開されている。

植生関数：混在する土地利用下において、季節別に栽培作物を特定したり、その作物の葉面積指数を測定することは現実には極めて難しいことである。また土地利用分類に対応した地表面粗度やアルベドの代表値を決定することも同様である。本実験では、過去に報告されている植生群落と微気象パラメータに関するデータを収集し、代表的な植生関数を仮定した。夏季と冬季の代表的な気候年として、気圧配置が安定し、晴天に恵まれた1996年の7月と1月を選んだ。

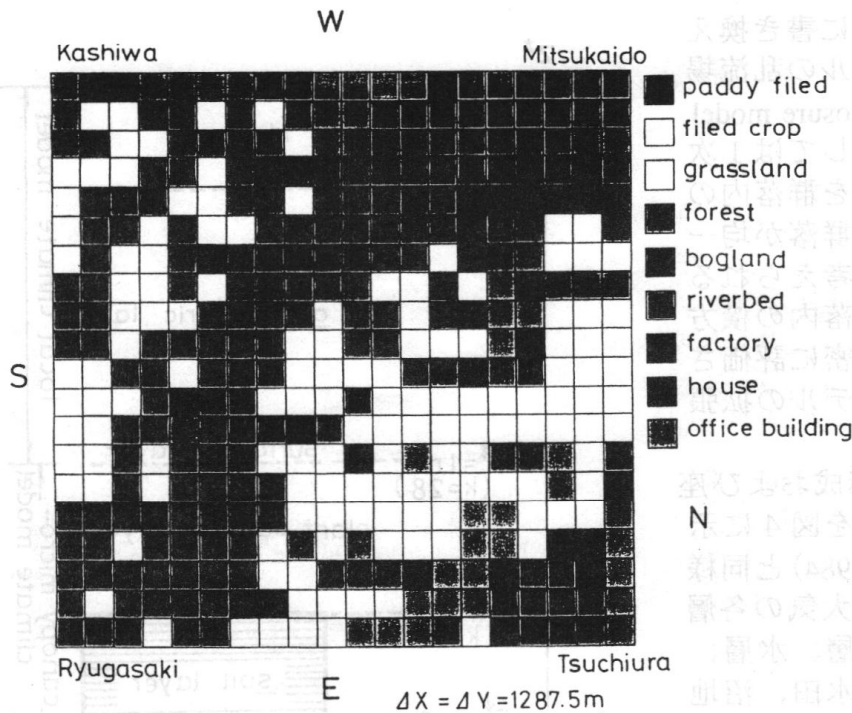


図5. 計算領域内の土地利用分類とX-Y平面上の格子間隔

ここで河川や湖のモデル化、あるいは住宅やビルのモデル化が重要な事項であるが、前者に関しては浅い流れのない水面を仮定し、後者に関しては貯留熱を無視し、周辺空気との熱や水蒸気の交換は植物モデルと同様に取り扱った。これに関してもモデルの改善を図らなければならない。また、植物の上端にできる物理的な凹凸面とそれによって生まれる乱流状態については研究が十分に進んでいないことと、複雑さを回避するために全ての植生群落、ビル、住宅を高さ1mのモデルキャノピーに置換した。この場合、これによって地表面上の空気力学的特性が変化するため、粗度長、地面修正量、表(葉)面積指数は次式で定義される等価粗度長、等価地面修正量、等価表(葉)面積指数で置換して相似性を保った。

$$(Z_0'/Z_0) = (H/H'), \quad (d'/H') = (d/H), \quad (L'/H') = (L/H) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 Z_0, d, H, L は実際の粗度長、地面修正量、草丈(高さ)、表(葉)面積指数であり、 $(')$ は置換した等価パラメータである。このような手法の妥当性については引き続き検討していく予定である。

4. 結果と考察

土地利用分類と二次元気温分布：CAPS model では水田内外の風速、気温、水温、地温などの微気象要素が推定できることから植物体の温度(キャノピー表面温度)や群落内の気温と植物体の温度の平均値であるキャノピー内温度の時・空間分布を容易に知ることができる。後者のキャノピー内温度分布は群落密度の影響等がより反映したものであることから、ここでは図6に1996年7月の正午12時のキャノピー内温度分布を示す。12時の時間帯でみると、34℃を越えるのは水田地帯の風上にあるビルであり、同じく住宅やビルでも孤立していたり、水田の風下にある $p(14,20), p(5,20), p(6,14), p(11,7)$ の地点では温度が1ランク下がっており、局所的に見ても水田等による植生の影響が認め

れる。畑地についてみると、水田地帯の風上に広がる畑作地帯の温度は28～31℃であるのに対して、風下に点在する畑地の温度はそれよりも1ランク下がって25℃から28℃である。これはある広さの植生面積以上でないと気候緩和効果は期待できないことを示している。さらに25℃以下の低温域には水田や林地が入るが、これは水の存在と大量のバイオマスによる温度抑制効果と考えられる。

このような二次元温度分布から明らかなように、この地帯は植生の影響が十分に作用しており、周辺の住宅地などは水田によって温度上昇が抑制されているものと推測される。逆に、風下の水田地帯からみれば、風上の畑地や住宅地から暖気が移流し温度を上昇させることが推測される。温度の上昇・下降が土地利用のみならず、風向や風速などによっても変化してくることが分かった。また、気候緩和機能として負の効果も評価する必要があり、日陰効果や減風効果などは水田地帯より市街地で期待される効果である。

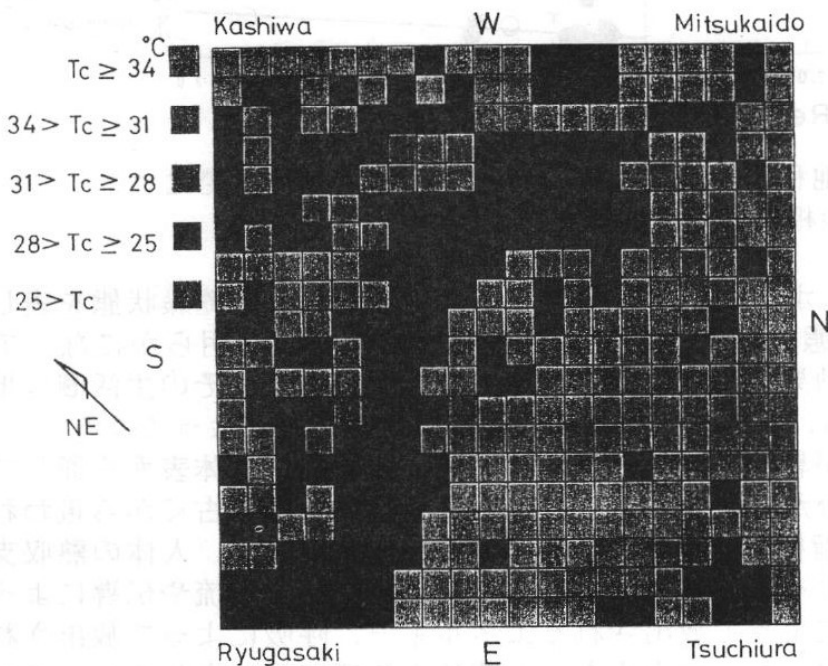


図6. キャノピー内温度(キャノピーの表面温度と群落内気温の平均値)の二次元分布 (12:00, July 1996)

土地利用の改変に伴う気候緩和効果の変化: CAPS model が気候緩和(温度抑制)効果の評価に活用できることは上述のとおりであるが、この気候緩和効果が損なわれる条件として、水田や沼地が住宅や工場に転用される場合である。そこで、先のモデル実験と同様に1996年の1月と7月の気象条件の下に、まず現在の土地利用下でシミュレーションを行い、領域全体の月平均気温、月平均最高気温、および平均のボーエン比を求める。つぎに領域全体を均一の水田や畑地群落に変えて同様にシミュレーションを行い、両者の温度差から土地利用の改変に伴う気候緩和効果の変化を予想した。

図7は現在の土地利用下における高さ1.5mの気温(*現況値)および土地利用を改変した場合に推定される気温をボーエン比の相対値で整理した結果である。ここで、 $RBR (=BRm/BRp)$ は相対ボーエン比であり、 BRm は均一群落を仮定した改変後のボーエン比、 BRp は現在の不均一群落におけるボーエン比である。実線は月別の日平均気温、破線は月別の日最高気温である。

図示した結果は日射の減衰係数などの日射パラメーター、地表面粗度などの風速パラメーターなどで数値そのものは若干変動する可能性はあるものの最高気温や平均気温の傾向は従来の結果と比較しても妥当なものであることが分かる。またボーエン比は気候

緩和効果の一つの指標と見なすことができる。このようなモデル実験の場合に問題となるが、局地的な群落パラメーターの測定手法や推定精度であり、これらに関しても今後の研究に期待したい。

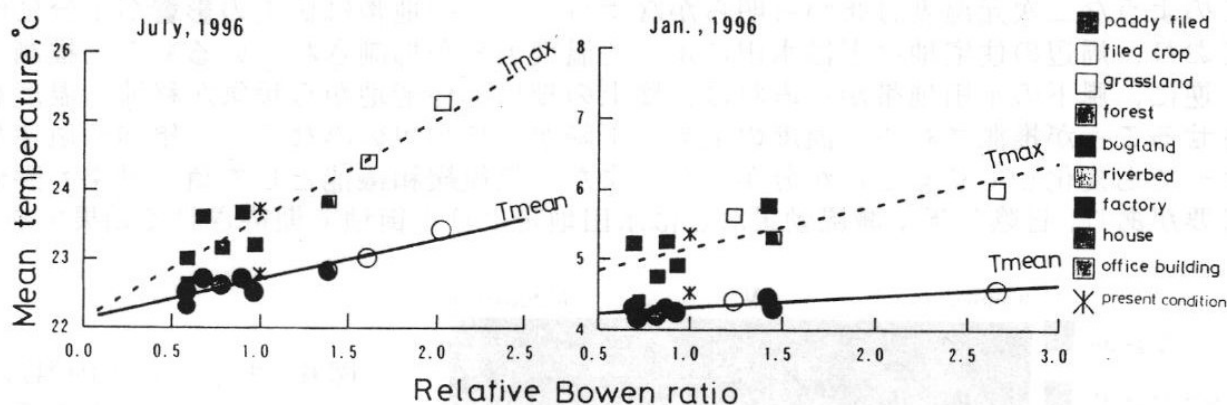


図7. 現在および土地利用改変における高さ1.5mの気温変化とボーエン比の相対値との関係

体感表示による指標化(MI)：ボーエン比が1を超えると、畑地などの乾燥状態を表し、1以下では水田などの湿潤状態を表すことは多くの熱収支観測から明らかになっている。しかし、一般に気候緩和効果の恩恵にあずかるのは人間であり、その生活圏は地上約1.5mの空間であることから、ボーエン比とは違う指標化が必要となってくる。

このような地上空間で人間が暑い、寒いと感じるのは、物理的には体表面を通じての熱の出入りに依存することが分かっている。これは生気象学分野で古くから扱われ、不快指数や体感温度といった指標が提示されている(Kamiyama,1961)。人体の熱収支式は生体からの熱発生、輻射によって体外に放出されるエネルギー、対流や伝導によって放出されるエネルギー、蒸発によって放出されるエネルギー、呼吸によって放出されるエネルギー、排出によって放出されるエネルギーと蓄熱の各項で構成されるが、それに関与する主な気象要素は日射(輻射)、風速、気温と湿度の4要素である。この4要素を考慮した天気快適指数(weather comfort index)も提案されているが、計算式の物理的根拠が明解でないことなどから本研究ではLinkeの体感温度をMIの試案とした。

$$T_E = t - \sqrt{V + 12 \times J} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで T_E は体感温度、 t 気温、 V 風速、 J 放射量である。推定した気象要素から計算した正午12時の体感温度分布を図8に示した。(2)式の右辺の放射量の項は日射量(放射量)とアルベドが領域全体で同じであるため、本項は無視されるが、風速の項は気温の低い水田で小さく、気温の高い畑地で大きく作用するために体感温度分布とキャノピー温度分布は相違してくる。例えば、夏季の晴天日を基準に風速と日射条件を変更した場合の体感温度(MI)はつぎのとおりである。

- (水田上のMI)：弱風・強日射時のMI=21.3℃、普通の風速・日射時のMI=19.7℃、
強風・弱日射時のMI=18.8℃。
- (畑地上のMI)：強風時のMI=21.8℃、普通の風速・日射時のMI=20.0℃、

強風時の MI=19.1℃.

(草地上の MI)：弱風時の MI=21.5℃、普通の風速・日射時の MI=20.2℃、
強風時の MI=19.0℃.

人間が感じる体感温度で気候緩和効果を評価すると、土地利用のみならず風速や日射条件によって大きく変わってくるということが明らかとなった。人間が快適である、不快であると感じる「しきい値」が20℃であるか、30℃であるかの対照表は今後作成しなければならない。

5. 多面的機能維持増進における気候緩和機能の役割

OECD などにおいて論議されている農業の多面的機能とは、「農業が農業生産活動に伴って農産物以外の種々の有形・無形の価値を創り出す経済活動であることを表した概念である」と定義されている。気候緩和機能は農産物以外の無形の価値を創り出す経済活動と位置づけられ、営農や生産とは直接にリンクしていないのが現実である。しかしながら、農水省構造改善局においては土地改良事業の実施のあり方等を検討する中で気候緩和機能を取り上げられ、正負の機能効果が気象観測やシミュレーション、リモートセンシング手法によって明らかにされようとしている。溜め池と周辺住宅環境との関係やいもち病と盆地気候との関係の解明には、この気候緩和機能からのアプローチが必要であると思われる。

本日のテーマである Agroforestry に関しても、気候緩和機能の解明が林床での放牧、果樹類の栽培といった本来的な農業形態に貢献できる可能性は非常に少ないが、これに関しては水越(2001)が指摘しているように森林生態系の研究、すなわち林冠や林内の気象環境の解明と活用といった新たな視点が重要であり、さらには森林に限定せず、果樹の幹や作物の稈の役割や冠内の利用に関心をもつ必要がある。

(引用文献省略)

会誌「関東の農業気象」編集投稿規定

会誌「関東の農業気象」は日本農業気象学会関東支部が年1回以上、発行する機関誌で、農業気象に関する経験と知識の交流を図ることを目的とする。本会誌には農業気象に関する調査・研究についての報告や解説記事および支部活動に必要な記事などを掲載する。関東支部の会員、会友は自由に投稿することができる。

1. 編集

- 1.1. 投稿原稿の採否の決定ならびに会誌の編集は理事会が行う。
- 1.2. 理事会は投稿原稿の加筆、修正および削除を求めることがある。

2. 投稿

- 2.1. 本会誌への寄稿は投稿を原則とする。
- 2.2. 投稿者は本支部の会員、会友もしくはこれと連名でなければならない。
- 2.3. 投稿者は原稿を支部事務局あてに送付する。
- 2.4. 投稿原稿は4.2で指定するワープロ原稿(A4版)を提出すること。
- 2.5. 投稿原稿の受理日は支部事務局がこれを受理した日とする。

3. 投稿の種類

- 3.1. 「関東の農業気象」は巻頭言(とびら)、研究短報、総説、研究トピックス、講座・(解説)、報告、書評、支部例会の講演要旨その他理事会が認めた農業気象に関する記事、および本支部の活動の記録の連絡記事より構成される。
- 3.2. 原稿の長さは原則、研究短報、総説、研究トピックスは刷り上がり4ページ以内、その他の原稿2ページ以内とする。
- 3.3. カラー印刷に必要な経費は著者の負担とする。

4. 執筆要領

- 4.1. 次のような構成を原則とし、英文要旨は必要としない。
 1. はじめに(序文)
 2. 材料および方法
 3. 結果
結果および考察としてもよい。
 4. 考察
 5. 引用文献
必要に応じて小見出しをつける。
- 4.2. A4版上質紙を使用し、上25mm、下25mm、左17mm、右17mmのマージンをとり、その枠内に約42(全角)×40行、文字サイズ約11ポイントで印字すること。
- 4.3. 図表は用紙に直接書くか、張り付けて提出すること。写真は、挿入部の部分をあけ、別途、印画紙に焼き付けたものを提出すること。図表の説明は和文とするが、座標軸の説明は英文でもよい。
- 4.4. 表題を1行目、著者名及び所属を3行目に書き、本文は行間を1行あけて書き始めること。
- 4.5. 単位はSIかCGS単位系のどちらかに統一する。
- 4.6. 引用文献は最小限度にする。本文中での引用は、三原(1969)によれば、などとする。引用文献はABC順に本文末に一括する。その書き方は次のようにする。
三原義秋、1969：無加温小温室の夜間温度について、農業気象、25、1-8
- 4.7. 別刷は請求があれば実費で入手できる。その場合、50部の倍数を単位として、投稿時に支部事務局に申し込む。

5. 支部例会の講演要旨の執筆要領

- 5.1. 「関東の農業気象」掲載用
執筆用紙・書式は、全国大会の形式に準ずる。長さは1ページ以上。
- 5.2. 「農業気象」(全国紙)掲載用
200字程度にまとめる。テキストファイル形式で保存した電子媒体の原稿を同時に提出すること。

賛助会友

株式会社牧野応用測器研究所 (2)

〒165-0025 東京都中野区沼袋 3-19-4 tel:03-3387-6241 fax:03-3319-9996

光電式微風速計。小型・軽量のロガー（新製品m x - c 1 1シリーズ）により簡便に長期の計測が可能になりました。電話回線による伝送システム。

横河電子機器株式会社 (2)

〒163-1054 東京都新宿区西新宿 3-7-1 新宿パークタワー21F

tel:03-5323-5118 fax:03-5323-5555

風向、風速、温湿度、気圧、雨量、日射、日照、水位、流速、流量、傾斜、地盤沈下等の観測機器の設計及び製造販売。総合気象水文観測システムの設計及び製造販売。

英弘精機株式会社 (2)

〒151-0073 東京都渋谷区笹塚 2-1-6 笹塚センタービル

tel:03-5352-2911 fax:03-5352-2917

各種日射計、放射計の製造販売を行い、気象観測、農業、工業、土木、建築方面に広く使用されております。

グリーンテック株式会社 (1)

〒136-0076 東京都江東区南砂 2-36-10 tel:03-3646-3111 fax:03-3648-3492

温室トップライト並びに付帯設備の設計、製作、施工及び販売。環境制御機器の設計、製作、施工及び販売。緑化造園工事の設計、施工及び管理。

太陽計測株式会社 (1)

〒143-0023 東京都大田区山王 1-2-6 tel:03-4426-5000 fax:03-4426-5115

横河電機・日本HP・横河電子機器製品販売サービス、計測・制御・情報処理・ハード/ソフトの開発・設計・製造・施工。

日本農園芸資材研究会 (1)

〒111-0053 東京都台東区浅草橋 4-2-2 浅草橋西口ビル 3F

tel:03-3866-0675 fax:03-5687-1494

農業関連資材、施設の改良に関する調査、試験研究、研究成果の普及。資材、機材の利用法と技術に関する調査、試験研究。

太陽計器株式会社 (1)

〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-2-6 アーバンビルサカス 5 3-B

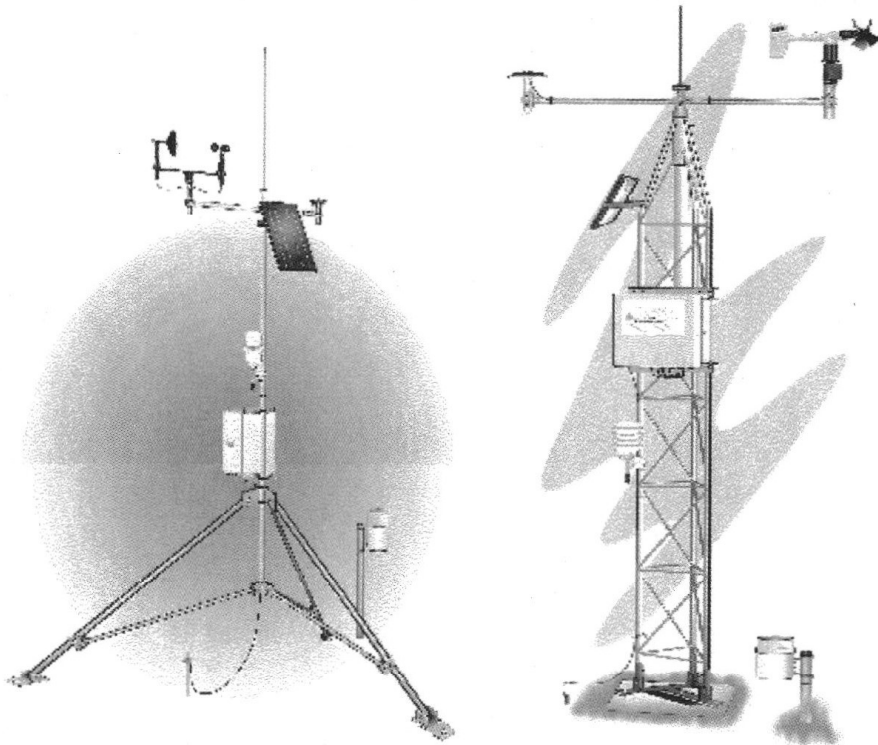
tel:03-3226-6682 fax:03-5363-6230

キャンベルの各種データロガー・測器の輸入元、販売を行っています。

<http://www.taiyokeiki.co.jp/>

気象観測システム

Campbell Scientific, Inc. Weather station



キャンベル社のウェザーステーションはキャンベル社のデータロガーとセンサーの組み合わせで構成されます。

データロガー及びセンサーはそれぞれ用途に応じて組み合わせが可能で、最適なシステムを組み上げることができます。

データ記録は任意のインターバルやデータの処理方法（平均値・積算値・瞬時値・最大値及び時刻・最小値及び時刻・標準偏差・多センサー間の最大値・最小値・平均値・多センサーの平均との差等）を自由に組み合わせて記録できます。

パソコンとの接続は直接接続する他に4線長距離通信・同軸ケーブルを使ったネットワーク・電話回線や携帯電話などの接続が可能です。

構成：データロガー
外部電源
太陽電池
収納ケース
風速・風向センサー
気温・湿度センサー
温湿度センサー用遮光シールド
日射センサー
日射センサー用マウント
日射センサー用アームスタンド
雨量センサー
雨量センサー用マウント
気圧センサー
ポール 又は タワー
パソコン用インターフェイス
サポートソフトウェア



Campbell Scientific, Inc. 日本総代理店 太陽計器株式会社

<http://www.taiyokeiki.co.jp/>

本社

〒105-0004 東京都港区新橋2-8-14

山田ビル

sales@taiyokeiki.co.jp

電話 03-3591-4101 / FAX 03-3591-4088

四谷分室

〒160-0004 東京都新宿区四谷1-2-6

アーバンビルサカス5

campbell@taiyokeiki.co.jp

電話 03-3226-6682 / FAX 03-5363-6230

2001年度日本農業気象学会関東支部役員名簿

支部長

蔵田 憲次 東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1
Tel. 03-5841-5353 Fax.03-5841-8172 E-mail akurata@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

理事

(事務局)

脇山 恭行 中央農業総合研究センター 耕地環境部 気象立地研究室
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
Tel.0298-38-8418 Fax.0298-38-8515 E-mail waki@narc.affrc.go.jp

(例会)

石郷岡康史 農業環境技術研究所 地球環境部 気象研究グループ
〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3
Tel. 0298-38-8202 Fax.0298-38-8211 E-mail isigo@niaes.affrc.go.jp

鈴木 純

信州大学農学部 農山村環境学講座
〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304
Tel. 0265-77-1523 Fax.0265-72-5259 E-mail jsuzuki@gipmc.shinshu-u.ac.jp

(会計)

清水 庸 東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻
〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1
Tel. 03-5841-5342 Fax.03-5841-8175 E-mail ayosh@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

吉本真由美

農業環境技術研究所 地球環境部 気象研究グループ
〒305-8604 茨城県つくば市観音台3-1-3
Tel. 0298-38-8205 Fax.0298-38-8211 E-mail yoshimot@niaes.affrc.go.jp

(発送)

岩渕 桂子 中央農業総合研究センター 農業情報研究部 モデリング研究室
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
Tel.0298-38-7177 Fax.0298-38-8551 E-mail iwabuchi@affrc.go.jp

小林 卓也

電力中央研究所 応用生物部
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646
Tel. 0471-82-1181 Fax. 0471-53-4306 E-mail t-koba@criepi.denken.or.jp

(編集)

鞠子 茂 筑波大学 生物科学系
〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1
Tel.0298-53-6681 Fax.0298-53-6614 E-mail marikos@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

溝口 康子

森林総合研究所 気象環境研究領域 気象研究室
〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松の里1
Tel.0298-73-3211(ex.374) Fax.0298-74-3720 E-mail pop128@ffpri.affrc.go.jp