

**日本農業気象学会関東甲信越支部 2022 年度例会
講演要旨集**

2022 年 11 月 25 日

明治大学駿河台キャンパス

1. はじめに 換気中の温室への CO₂ 施用の有効性は、比較的早くから明らか(Slack and Hand, 1985) にされている。換気中の温室内 CO₂ 濃度を外気 CO₂ 濃度と同程度に維持するゼロ濃度差 CO₂ 施用法 (Ohyama et al., 2005; 以後単に、ゼロ濃度差法) はその一手法である。ゼロ濃度差法は、施用した CO₂ は収支的には温室外に排出されないという利点とともに、光合成有効量子束密度 (PPFD) が高い時間帯の植物の純光合成速度 (P_n) を十分には高められないという欠点を有する。筆者らは、費用対効果を重視する観点から、明期の CO₂ 施用量あたりの、無施用時と比較した P_n の増加量の明期積算値 (以後、 ΔP_n) を CO₂ 施用効率と定義し、その効率の高い CO₂ 施用法の提案を目指している。本研究では、PPFD が高い時間帯にのみ外気より高い CO₂ 濃度に施用する方法 (以後、強光時施用法) は、ゼロ濃度差法よりも CO₂ 施用効率を高くできる可能性があると予想し、強光時施用法に二つの施用パターンを用意して、それらとゼロ濃度差法の CO₂ 施用効率を比較した。

2. 方法 無施用区、CO₂ 濃度 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 一定区 (ゼロ濃度差区)、強光時 450 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 施用区 (+50 区) または強光時 500 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 施用区 (+100 区) の、計 4 区を用意した (図 1)。供試植物には、20 日間育苗した 4 株のキュウリ'北進' (キュウリ個体群) を用いた。小型強制換気温室モデルには、約 55 L の開放型同化箱を用いた。同化箱内に、明期の温室内 PPFD および気温の時間変化を再現した。播種後 20 日目の夜に供試植物を同化箱内に移動し、区間補正用の純光合成速度 (P_c) を測定した。その 11 時間暗期の後 (播種後 21 日目) に CO₂ 施用実験を行った。実験中の換気回数は 8.0 h⁻¹ とした。+50 区および+100 区の CO₂ 施用時間は、キュウリ個体群の PPFD- P_n 曲線 (図 2) に基づき、ゼロ濃度差区の明期 12 時間の CO₂ 施用量と同じになるように決定した。同化箱の CO₂ 収支よりキュウリ個体群の P_n を計算した。各区の P_n および施用速度に対して、 P_c を用いた純光合成速度の補正を行なった。実験は 3 回反復した。

3. 結果と考察 ゼロ濃度差区、+50 区および+100 区の CO₂ 施用効率の平均値は、それぞれ 51.8% , 55.9% および 52.6% であった。各区の CO₂ 施用効率間に有意差は認められなかったが、+50 区および+100 区の CO₂ 施用効率の平均値はゼロ濃度差区のそれより高かった。本実験では、同化箱への流入・流出空気の CO₂ 濃度差を大きくするために換気回数を 8.0 h⁻¹ としたが、換気回数がより小さい条件あるいは同化箱内の株数がより多い条件では、ゼロ濃度差法との間に有意差が認められるほどに、強光時施用法の CO₂ 施用効率が高まるものと予想する。また、CO₂ 施用日数が多くなるほど、施用期間あたりの強光時施用法の CO₂ 施用効率が大きくなることが予想される。今後は、換気回数が小さい条件での実験および CO₂ 施用日数を延長した実験を行い、それぞれの条件下でのゼロ濃度差法と強光時施用法の CO₂ 施用効率を測定する予定である。

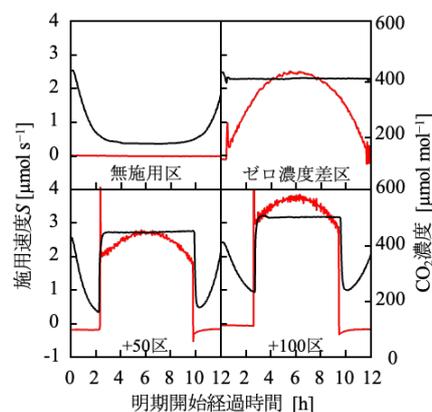


図1 各試験区における明期12時間の同化箱内CO₂濃度(黒線)および施用速度(赤線)の経時変化

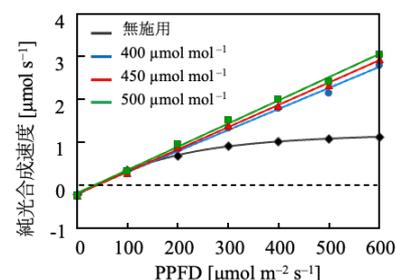


図2 キュウリ個体群のPPFD- P_n 曲線 2022年6月22日に取得した

Effects of air temperature on the factors related to synthesis and degradation of a vaccine antigen protein transiently expressing in *Nicotiana benthamiana* leaves
○Patthasarun Pruksarajanukul and Ryo Matsuda (The University of Tokyo)

1. Introduction

Plants have attracted more attention as a new platform for producing recombinant proteins such as biopharmaceuticals (vaccine antigens etc.). Plant-based systems can offer advantages over conventional cell culture-based systems, including low production costs and high production scalability. Transient gene expression is a biotechnology for rapid and mass production of recombinant proteins in plants. In this system, non-transgenic *Nicotiana benthamiana* plants are inoculated with *Agrobacterium tumefaciens* to introduce the gene encoding the target protein and genes derived from plant virus for the target gene replication. The plants are thereafter grown for several days to accumulate the target protein. To prevent transgene flow to the outside, plants should be grown in a plant factory with artificial lighting (PFAL).

We previously found that air temperature after gene introduction is one of the environmental factors significantly affecting the target protein content. Particularly, although 25–26°C is within the range of optimal temperature for growth of non-transgenic *N. benthamiana* plants, it leads to severe leaf necrosis in the plants expressing the target protein, and its content rapidly declines (Matsuda *et al.*, 2017). Understanding the mechanism underlying the change in the target protein content should contribute to more efficient environmental control in PFAL to achieve the maximal target protein yield. In this work, we investigated physiological factors related to the synthesis and degradation of hemagglutinin (HA), a vaccine antigen of influenza virus, at two temperatures after gene introduction.

2. Materials and methods

Thirty-eight-day-old *N. benthamiana* plants were inoculated with *A. tumefaciens* carrying the vector containing the *HA* gene or the empty vector containing only plant virus-derived genes without *HA* as a reference. The plants were cultivated at 21 or 26°C and sampled at different days post inoculation (dpi). The HA protein content and the mRNA level of *HA* gene as a factor related to HA synthesis were quantified. The mRNA levels of genes known as physiological stress markers (*BiP*, *bZIP60*, *PDI*) were also quantified as possible factors related to leaf necrosis and HA degradation at the higher temperature.

3. Results and discussion

In HA-expressing plants, leaf HA content became high at 6–8 and 5 dpi at 21 and 26°C, respectively. At 26°C, plants showed severe leaf necrosis from 6 dpi while it was negligible at 21°C. These results were consistent with our previous result (Matsuda *et al.*, 2017). The mRNA level of *HA* gene reached its maximum at 3 dpi at both temperatures and the maximal levels were comparable, suggesting that it may not be the primary determinant for the time course of HA content at the two temperatures. Among stress marker genes tested, we found that *bZIP60* mRNA level was drastically enhanced at 3 dpi at 26°C compared to 21°C. The *bZIP60* is known as a transcription factor of the endoplasmic reticulum (ER) stress. Our result suggests that the leaf necrosis and the associated rapid decline of HA content at the higher temperature were related to the ER stress.

高温条件下におけるオオミズゴケの栽培方法の検討

-光強度が葉色と成長に及ぼす影響-

○森玲雄(明治大学大学院), 板橋大翔(明治大学大学院), 矢崎友嗣(明治大学)

1. はじめに

中高緯度の湿原に広く分布するミズゴケ属植物(*Sphagnum* spp., 以下ミズゴケ類と呼ぶ)は主にランの用土やピートモスの材料などの園芸資材として用いられる。またヒートアイランド緩和効果をもつ屋上緑化植物としても注目される。このようにミズゴケ類は多機能であり商業的価値が高いため、世界的な需要は増加している。しかし収奪的な採取により自生地が縮小し、自然の湿原からの収穫は困難であるため、欧米では栽培増殖の研究が行われている。日本の気候は温暖湿潤であり、ミズゴケ類の成長にとって有利な可能性があるが、関東地方のような夏に高温な地域での研究例は少ない。このような環境で多くの収量を得るためには環境の変化に対する成長の応答を把握する必要がある。本研究では、首都圏の建物屋上において異なる水位・遮光条件で栽培したオオミズゴケ(*Sphagnum palustre* L.)の成長特性を明らかにし、夏季に高温になる地域におけるミズゴケ類の栽培や成長モデルの検討に向けた知見を整理した。

2. 方法

神奈川県川崎市の建物屋上に1×2 mのプール(水深約15 cm)を設置し実験を行った。2022年5月に厚さ5, 10 cm(水位-5, 10 cm)の断熱材(15×15 cm)に直径5 cmの穴を4つあけ、そこに乾燥ミズゴケを充填して作成したラフトを6個ずつ用意した。ラフトの乾燥ミズゴケ充填部に、秋田県産のオオミズゴケ頭状体(高さ1-2 cm)を7個ずつ栽植してプールに浮かべ、遮光率65%の遮光ネットで覆い生育させた。その後7月上旬にネットを取り外し、遮光率50%, 65%, 82%の遮光ネットで各水位3つずつ覆い生育させた。屋上の気象環境は10分間隔で連続測定した。また各処理区におけるコロニー内の温度(1 cm深)を1分間隔で測定した。各ラフトのコロニーの体積と面積は3Dスキャナ(POP 3D Scanner, REVOPINT)で測定し、7-10月に分光器(USB2000, OceanInshight)を用いた分光反射率から光化学系反射指数(PRI)を算出した。

3. 結果と考察

5~10月上旬までにオオミズゴケの体積は5.7~12.9倍に増加した。水位が成長に及ぼす影響は大きく、高水位(-5cm)の方が成長量が大きかった。また両水位において遮光率82%で体積の増加が最大であり、遮光率50%, 65%の順に成長が大きかった。そのため、水位だけでなく遮光による光や熱、水環境の変化がミズゴケの成長に影響及ぼすことが示唆された。また遮光率の変化後、7月下旬に遮光率50%と65%においてオオミズゴケの葉色が緑色から赤褐色に変化した。遮光率82%では緑色のままであった。このような赤褐色化は色素の合成に起因し、強光によるクロロフィルの破壊を保護する防御機能の可能性もある。また、赤褐色化したオオミズゴケのPRIは緑色よりも低い値を示したため、赤褐色化は光利用効率を低下させることが示唆された。以上のことから、関東地方の建物屋上のような夏に高温・強光になる条件下では、高温・強光による乾燥や、赤褐色化による収量の低下が予想されるため、高水位かつ強い遮光環境での栽培が適切であると考えられる。

高温の経験がミズゴケ類の光合成能力に与える影響 –光合成速度，クロロフィル蛍光指標，分光反射指数の同時計測による評価–
○板橋大翔（明治大学大学院），矢崎友嗣（明治大学），星良和（東海大学），
矢部和夫（札幌市立大学）

1. はじめに

ミズゴケ属植物（以下，ミズゴケ類）は冷涼湿潤な北方泥炭地の湿原に広く分布し，泥炭地のカーボンシンク機能に貢献する．しかし，地球温暖化に伴う気温上昇や乾燥化はミズゴケ類の生育に悪影響を及ぼす可能性がある．そのため，気候変化に対する泥炭地の炭素収支の応答を予測する上で，環境の変化に対するミズゴケ類の光合成の応答を理解することは不可欠である．一方，コケ植物の光合成機能の評価手法としてクロロフィル蛍光（以下，Chl 蛍光）画像計測法が有効とされ，光利用効率を表す光化学的分光反射指数 PRI の計測はミズゴケ類の短期的な光合成能力の推移を検知できる（Van Gaalen & Flanagan 2007）．しかし，ミズゴケ類の Chl 蛍光，分光反射率をガス交換と同時計測し，環境の変化が光合成能力に及ぼす影響を評価した研究例は少ない．本研究では，夏季が高温の関東地方で生育させたミズゴケ，夏季が冷涼な北海道で自生するミズゴケを供試し，高温の経験が光合成能力に及ぼす影響を評価した．

2. 方法

2020年8月に北海道南幌町の自生地でおオミズゴケを採取し，川崎市の建物屋上で水位-5cm条件で生育させた．2021年5月からは水位-10cm，50%遮光条件で生育させ，2021年9月と2022年8月（高温経験1，2年目）に頭状体を採取し，光合成速度，Chl 蛍光指標，分光反射指数を計測した．また，2022年8月に南幌町の同群落（遮光率約90%）から同種を採取し，同じ計測を行った．正味光合成速度（ P_n ）は気温25，35℃下の光飽和条件で計測した． P_n の計測中，頭状体は徐々に乾燥するため，チャンバー内の気温と相対湿度より蒸発速度を求め，頭状体の重量含水比（WC）を算出した．同時に，分光器（USB2000，Ocean Insight）で，頭状体の分光反射率を20分間隔で計測し，PRIを算出した．また，同気温下で暗条件のチャンバーから20分ごとに頭状体を取り出し，二次元イメージング・クロロフィル蛍光計測器（FC1000-H，PSI）で，光合成反応系の活性を表すChl 蛍光指標である F_v/F_m を計測した．

3. 結果と考察

WCに対して P_n は凸状に変化するため， P_n が最大化する最適WCが存在することがわかった．川崎で生育させた場合，気温25，35℃下で，高温経験2年目の P_n 最大値と最適WCは1年目より低下し，最適WCにおけるPRI値は変わらなかった．また，高温経験2年目の F_v/F_m 値はWCに関わらず一定であり，1年目は最適WC以下で低下した．よって，高温を繰り返し経験すると， P_n は低下するが，より乾燥した条件で最大化できるようになり，乾燥条件でも光合成反応系の活性が維持された．すなわち，おオミズゴケの光合成能力は乾燥に適応した可能性がある．一方，南幌町から採取直後のおオミズゴケでは，気温25，35℃下で， P_n 最大値と最適WCにおけるPRIは高温経験2年目より高く， F_v/F_m 値は著しい乾燥条件以外でより高かった．したがって，川崎の夏季高温かつ光量が増加した条件で生育させたことで，南幌町産のおオミズゴケの光合成能力が低下したと考えられる．

関東地方の空っ風と帯広地方の十勝風との関連性

○真木太一（九州大名誉教授・日本学術会議連携会員・北海道大農学研究院）

1. はじめに

日本の風（朝倉書店）（真木、2022）の中で、空っ風と十勝風の類似性に気付いていた。関東地方では冬春季に空っ風が吹く。その特性を2019年12月27日と2020年1月21日について評価し、北海道帯広地方の十勝風（馬糞風）と比較した。十勝地方では春秋に乾燥した強風が吹き風食が発生する（鮫島、2022）。農地には防風林が整備されているが、一部伐採された所もある。2022年3月30日、4月23日、27～28日の気象解析を行った結果を報告する。

2. 方法

2022年3月30日、4月23日、27～28日の帯広周辺地域39地点のアメダスデータ（気温、風向、風速、湿度、日照時間、降水量）を利用し分布図を作成、関東地方の空っ風と比較した。

3. 結果と考察

(1) 関東地方の空っ風の局地風

関東平野の冬・春季に吹く乾燥した強風の空っ風（真木、2022）は三国山脈（谷川連峰の鞍部）を越え前橋－熊谷－東京に吹くことが多い。関東の扇型の強風域は2019年12月27日では最大風速20m/s、2020年1月21日では20m/s以上を示し、春季には乾燥し風食が発生する。

(2) 北海道・帯広地方の乾燥・強風の局地風特性

2022年4月23日の日最高気温・最低気温は上川地方では低く十勝地方が高い。日最大風速は概して上川地方で弱く十勝地方で強くなるのは狩勝峠を越えて東方に吹き下ろすため、最大・最大瞬間風速は風上の地峡風の幾寅で7.1、20.4m/s、風下の上士幌では14.0、21.2m/s。風向は幾寅で北西、山越え後は北西風が多い。日最小・平均湿度は上川地方で大きく十勝地方で小さい。日照時間は上川で少なく十勝で多い。十勝岳(2052m)－幌尻岳(2053m)の切れ目である幾寅(350m)－狩勝峠(644m)から、帯広への山越え気流の特徴的な気象特性変化が見られる。

(3) 顕著な空っ風が吹く時の剥離流・跳ね水現象

関東では三国山脈－水上（みなかみ）－沼田－伊勢崎（前橋・高崎）－熊谷－さいたま－東京の気流・方向に関して、水上での逆風の強風（山越え風）、沼田、伊勢崎、熊谷地域ではハイドロリックジャンプ（はね水現象）が観察され、風速の強弱が発生する。例えば、2015年10月25日には三国山脈（谷川岳付近）より風下10km（水上）、30km（沼田）、60km（伊勢崎）、90km（熊谷）で北西～北北西の吹き下ろしの強風（おろし風）が観測された。ただし水上は逆向きの南風（剥離流）であった（真木、2019；2022）。跳ね水現象で吹き上げた風の上方にはレンズ雲が発生する（吉野、1987）。冬春季の空っ風はボラ風、春秋の十勝風はフェーン風が多い。

4. まとめ

帯広地域では3～4、10～11月に幾寅から上士幌、鹿追、駒場、帯広への北西寄りの風（十勝風）が吹き込むと風速が増大し、最高・最低気温が上昇し、乾燥が強化され、砂塵が舞い上がり風食が発生する。これは関東地方の冬春季の空っ風と類似しているが、狩勝峠は周辺の山地との高度差が小さく、関東地方の地峡風より弱い。春季の降水量が少ないと砂塵が強化される。

引用文献 1)真木太一、2019：『75歳・心臓身障者の日本百名山・百高山単独行』、海風社、pp. 165。
2)真木太一（編）、2022：『図説 日本の風』、朝倉書店、pp. 175。 3)鮫島良次、2022：十勝風、『図説 日本の風』（真木太一編）、60～61。 4)吉野正敏、1987：『新版小気候』、地人書館、pp. 308。

複雑地形における日最低気温の時空間分布の評価：

累積流量と放射冷却強度を用いたモデル構築

○木村建介，佐々木華織，丸山篤志（農研機構・農環研）

1. はじめに

複雑地形の農地においては、夜間の放射冷却に伴う冷気流の影響で最低気温が数 m から数十 m の空間スケールで大きく異なる。そのため、気象観測点やメッシュ気象データから得られた最低気温と実際の最低気温に誤差が生じる可能性がある。既存の研究では、この誤差を補正するために、標高データから計算可能な様々な地形因子が考案され、冷気流の影響を考慮したモデルの開発に利用されてきた。本研究では、地形因子の一つである累積流量を用いたモデルを改良し、複雑地形における日最低気温の時空間分布を評価する手法を開発した。

2. 方法

(1) 累積流量は、標高データにおける尾根部から谷部にかけての地形の勾配方向をそれぞれ累積していくことで計算され、各地点に流入した冷気が定量化できる。既存のモデルにおいては、計算地点を中心とした半径 r (m) の円内の累積流量の平均値が、その地点の最低気温に影響を与える有効範囲と仮定している。しかしこの手法では、尾根部の気温を推定しようとした際に、周辺の谷部の累積流量も有効範囲として計算してしまい、実際の冷気流のプロセスと矛盾が生じる。そこで、推定点の標高と比較して h (m) 以上低い地点を有効範囲から除外することで、モデルの適用可能性の向上を試みた。

(2) 累積流量は最低気温の空間的な変動を表す指標であり、時間的に変動する放射冷却の強さは表現不可能である。そこで、放射冷却強度（地表面付近と数 m 上方における温位の差）をモデルに組み込み、任意の地点と任意の日において日最低気温を推定可能なモデルを構築した。

(3) 上記のモデルは、埼玉県入間市の丘陵地において実測した気温データに基づいて構築した。気温の計測は、南北 10 km × 東西 7 km の範囲内（図 1）の 15 点において、2020 年 11 月 1 日から翌 4 月 13 日まで行った。最後に、構築したモデルをメッシュ農業気象データ（大野ら、2016）に組み込み、対象範囲内の日最低気温の時空間分布（空間解像度 5 m）を評価した。

3. 結果と考察

気温計測点間の比較において、最大の標高差が 73 m にも関わらず、日最低気温の地点間差は最大で 6.7 °C に達した。この空間的に大きな変動は、冷気流の影響を強く受けたためと考えられる。また、この空間変動性は、メッシュ農業気象データのみでは再現することができなかったが（谷部における実測値との残差の平均値が -1.9 °C）、構築したモデルを組み込むことで再現精度が改善した（残差の平均値が -0.2 °C）。また、改良した累積流量モデルは、既存のモデルと比較して、尾根部の日最低気温の推定精度を向上させただけでなく、尾根部と谷部の境界を明瞭にした。

4. まとめ

本研究で構築したモデルは、複雑地形における気温の時空間変動やそれに伴う植物のフェロロジーや凍霜害リスクを評価する際に有用と考えられる。

北方林の森林火災による土地被覆変化が対流性降雨の特性に与える影響
○落合悠介, 岩田拓記 (信州大学), 植山雅仁, 原菌芳信 (大阪公立大学)

1. はじめに

森林火災は北方林の主要なかく乱である。内陸アラスカの北方林では常緑針葉樹のクロトウヒ林が優占しており、火災後は落葉広葉樹を経てクロトウヒ林へと植生が回復する。火災後の若齢林では、地表面が受け取る正味放射エネルギーや顕熱・潜熱輸送への分配が変化し、それにより大気境界層の高度や境界層内の温位・比湿が変化する。それにともなって、対流性降雨の特性も変化すると考えられる。降雨は土壌水分の変化を通して二次遷移に影響することから、対流性降雨特性の変化は若齢林の炭素交換予測においても重要である。本研究では、Ueyama et al. (2020) で開発された大気境界層モデルに雲生成サブモデルを追加し、内陸アラスカの森林火災による地表面変化が対流性降雨に与える影響を明らかにすることを目的としている。

2. 方法

内陸アラスカのクロトウヒ成熟林と火災発生から4年後から17年後の回復途中のシラカバ林において、3月から10月に測定された顕熱・潜熱輸送データを大気境界層モデルに入力し、地表面変化が大気境界層に及ぼす影響を明らかにした。用いた大気境界層モデルは境界層を単層として表現しており、地表面からの顕熱・潜熱輸送の測定値を入力として境界層の成長および境界層内の温位・比湿を再現する。このモデルに地表付近の気圧、気温、相対湿度から持ち上げ凝結高度を計算するサブモデルを加えた。モデルによる対流性降雨の予測は、境界層高度が持ち上げ凝結高度を超えたときとした。火災後のボーエン比に応じた顕熱輸送と潜熱輸送の比をモデルへインプットし、ボーエン比に対する大気境界層の感度分析を実施した。降雨予測の検証と降雨特性の分析には、日射量と降雨継続時間の条件により降雨観測から抽出された対流性降雨を用いた。また、大気境界層の再現は、緯度から推定される最大日射量に対する観測された日射量が70%以上の日に行われた。

3. 結果と考察

大気境界層モデルは、境界層高度や境界層内の温位・比湿の平均的な季節変化や日毎の変動をおよそ再現した。一部の日毎の境界層高度のモデル計算値では、1500 mより高高度で過大評価となった。大気境界層モデルと雲生成サブモデルにより、対流性降雨開始のタイミングは平均的には再現された。

30分ごとに計算された大気境界層高度と持ち上げ凝結高度について、2009年から2021年の経年変化をみた。クロトウヒ成熟林サイトと比較すると、シラカバ若齢林サイトでは、夏期の境界層の高高度の時期に200-300 mほど低下傾向であった。また、シラカバ若齢林サイトでは、若齢林が優占し始めてから3年後の2015年ごろから、境界層高度と持ち上げ凝結高度ともに低下傾向が見られたが、持ち上げ凝結高度の方がより大きい低下傾向がみられた。この変化は、ボーエン比に対するモデルの感度分析と同様な傾向を示した。

火災からの二次遷移によりボーエン比が低下した結果、持ち上げ凝結高度が大気境界層高度よりも大きく低下することで、対流性降雨の増加傾向が示唆された。

日中における諏訪湖上の内部境界層の発達
○中島望 (信州大学), 岩田拓記 (信州大学)

1. はじめに

近年, 湖上での渦相関法による温室効果ガス交換測定が行われている. しかし, 渦相関測定は湖周辺の陸地の影響を受ける可能性が指摘されている. 諏訪湖での渦相関法を用いた CO_2 交換測定でも, 夜間に下向きの CO_2 輸送 (すなわち, CO_2 吸収) が観測されている (落合, 2020). 陸地の影響の一つに湖周辺の陸地で発生した二酸化炭素 (CO_2) が湖上の内部境界層 (IBL) 上端でのエントレイメントによって, 湖表面へと輸送されることが考えられる. よって, IBL の発達を理解することが湖面—大気間のガス交換測定の精度向上につながると考えられる.

本研究では, ドローンによって湖上の温位・比湿プロファイルを測定し, 気象と IBL の発達との関係を明らかにする. また, 数値モデルを作成し, IBL の発達の再現を行うことを目的としている.

2. 方法

観測サイトは長野県の諏訪湖である. 温湿度センサーを取り付けたドローンを約 1 ms^{-1} で地上高 300m まで上昇させることで温位・比湿のプロファイルを測定した. 観測は 6 月 19 日の午前中に 30 分おきに, 9 月 13 日と 10 月 12 日の日中に 1 時間おきに行った. 観測は西風時に実施し, 湖西端から発達する IBL を対岸にて観測した. IBL 高度は温位・比湿がよく混合した IBL 内部の一定値から勾配が表れ始める高度とした. IBL 内の平均温位・比湿は, 地上から IBL 上端までの値を平均した. また, 一般的な気象観測を東岸の棧橋において実施した.

数値モデルは IBL を一層で表現している. モデル中では IBL は湖表面からの顕熱供給により成長し, IBL 内の地表面フラックスとエントレイメントフラックスの収支が計算される. 湖東岸で観測した顕熱フラックス, 水蒸気フラックスなどのデータを入力し, IBL の発達の再現を行う.

3. 結果と考察

IBL は早朝に数十 m までの高さであり, 正午前に大きく成長し, 100m 近くや, 観測日によっては 140m を超えるまで発達していた. その後, IBL 高度は緩やかに上昇していた. IBL の最大発達高度は, 6 月 19 日に 96m, 9 月 13 日に 193m, 10 月 12 日は 188m であった. 9 月 13 日は正午前までの IBL の発達速度が最も遅く, 午前中の雲の発生による入射日射量の減少により, 成長が制限されたと考えられる. 最も IBL が発達した 10 月 12 日は IBL よりも上の大気が正午前に不安定となっており, この時間帯に IBL が急激に成長していた.

モデルによる IBL 高度の計算結果は実測を過小評価していた. それに伴い, IBL 内の温位は過小評価, 比湿は過大評価となった. これは IBL 発達の過小評価によりエントレイメントフラックスも過小評価されているからである. 精度向上のためには水平方向の移流を考慮する必要があるかもしれない.

都市郊外の森林におけるオゾンと窒素酸化物の鉛直分布

○田野岡遼, 和田龍一 (帝京科学大), 反町篤行(東洋大), 松田和秀(東京農工大)

1. はじめに

窒素酸化物やオゾンの森林への沈着による樹木の成長不良といった悪影響が懸念されている。日本は国土の約7割を森林が占めており、これらの物質の森林内部の動態および森林への沈着過程を明らかにすることは森林保全を考える上で重要である。本研究では、都市近郊森林におけるオゾン (O_3) と一酸化窒素 (NO) の昼夜、および着葉期と落葉期における濃度プロファイルと比較し、その特徴について考察する。

2. 方法

東京都八王子市に位置する東京農工大学農学部附属研究林施設フィールドミュージアム多摩丘陵 (FM 多摩丘陵) にて、着葉期 (2021年9月1日~9月31日) と落葉期 (2022年3月18日~4月18日) に O_3 と NO 濃度の高度毎の測定を行った。測定高度は、30m、20m、10m、6m、1m、0.1mの6高度、森林のキャノピーは10m~20mである。 O_3 は紫外吸収分析装置 (島津: UVAD-1000A)、一酸化窒素は化学発光分析装置 (サーモ社: 42i-TL) を測定に用いた。バルブを用いて測定高度を切り替え、1高度10分間、1サイクル60分の条件で測定した。

3. 結果と考察

着葉期における昼間 (12:00) と夜間 (0:00) の O_3 と NO の濃度プロファイルを図に示す。

O_3 濃度: 昼間 (12:00) の O_3 濃度は30mで最も高く、高度が下がるにつれて低くなった。高度1mより O_3 濃度の減少の割合が大きくなった。夜間 (0:00) は O_3 濃度が全体的に低いが、昼間と同様に30mが最も高く、高度の低下とともに濃度が減少した。濃度減少の割合は、昼間に比べて小さかった。昼間は呼吸に伴い植物の気孔から O_3 が吸収されるためである可能性がある。

NO 濃度: 昼間 (12:00) の30mの NO 濃度は他の高度に比べて最も高かった。 NO 濃度は高度の低下とともに1mの高さまで減少するが、0.1mにて濃度が増加した。夜間 (0:00) の NO 濃度は30mにて最も低い値を示し、高度が下がるにつれて濃度が上昇し、0.1mでは最も高い濃度を示した。昼夜ともに土壌から NO が放出されている可能性がある。今後落葉期のデータと合わせ O_3 と NO の森林内部空間の濃度プロファイルの着葉期と落葉期の変化を明らかにする。

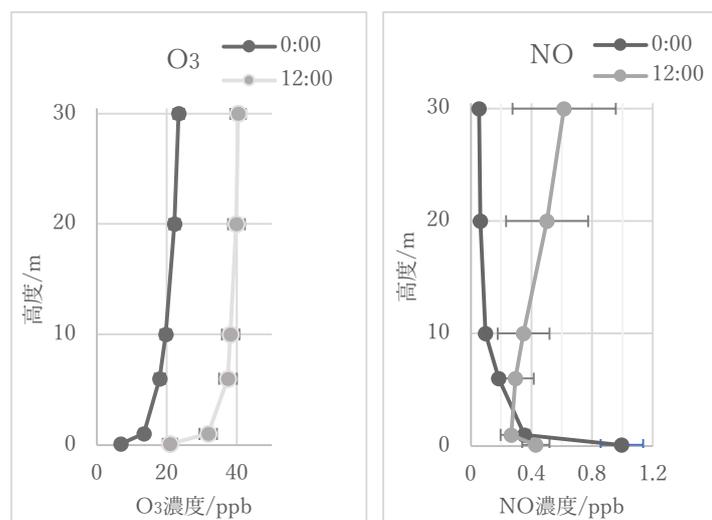


図. 森林における濃度プロファイル: (左) O_3 (右) NO

衛星データを用いた諏訪湖における浮葉植物と沈水植物の分布域の推定
○澤野耕平（信州大学），岩田拓記（信州大学），楊偉（千葉大学），飯塚浩太郎（東京大学）

1. はじめに

水生植物は湖沼生態系において重要な構成要素の一つであり，湖沼の物質循環に大きく寄与しているため，水生植物の分布の把握は重要である．リモートセンシングは広域の水生植物のマッピングに効果的であることが示されている．先行研究においては衛星データを用いて湖の水生植物タイプごとの分布の特定に成功している例があるが，諏訪湖においてはこれまでに浮葉植物の分布のみが特定されている．本研究の目的は諏訪湖において浮葉植物と沈水植物の二つの水生植物タイプを分類できるモデルを作成し，それぞれの分布把握を行うことである．

2. 方法

諏訪湖は長野県に位置する，平均水深 4m の浅い富栄養湖である．夏季には浮葉植物であるヒシや沈水植物であるクロモが繁茂する．解析には主に Sentinel-2 衛星データを用いた．2022 年 5 月 1 日から 2022 年 10 月までの間の諏訪湖を含む衛星画像のうち，被雲率 50%以下の画像 19 枚を取得した．PlanetScope 衛星（解像度 3m）の正規化植生指数画像から，ヒシと水域を代表するエリアを特定した．また，クロモについてはドローン調査の結果と過去の水産試験場の調査から湖南西のエリアに一様に分布していたと仮定し，代表エリアとした．取得した 19 枚の Sentinel-2 衛星画像の代表エリア内から Red, Green, Blue, 近赤外（NIR）の反射率を抽出した．抽出した反射率のピクセル値を用いて，分類に用いる特徴量の検討を行った．その特徴量を用いて分類木モデルを作成して水生植物ごとのマッピングをおこなった．

3. 結果と考察

エリアごとの反射率の季節変化を調べたところ，ヒシエリアはヒシが繁茂している 6 月から 9 月にかけて NIR の反射率が高くなっていることが確認できた．クロモエリアと水域エリアは反射率の特徴が類似していたが，クロモエリアの方が水域エリアに比べて反射率の季節変化が大きくなっていた．分類に用いる特徴量の選択については現在検討中である．

図 1 に特徴量のひとつである指標（Luo et al., 2015）を用いて 2022 年 7 月 1 日の衛星画像において特定したヒシの分布を示す．特に東部でヒシが広く分布しており，諏訪湖で見られる実際の分布が再現できている．今後は特徴量の検討を進めて，クロモの分布を特定できるようにすることを目指す．

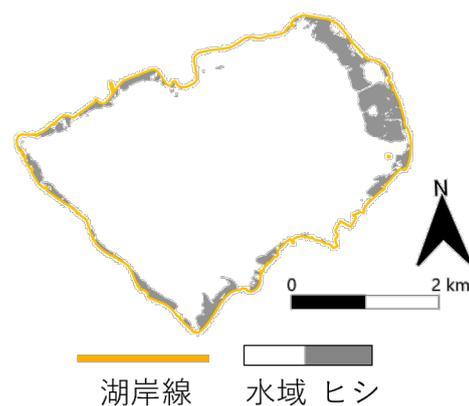


図 1 分類木によるヒシ分布図

ひまわり 8号を用いた葉面積指数の推定

○橋本達希 (千葉大)・Li Wei (千葉大)・Zhang Beichen (千葉大)・山本雄平 (千葉大)・楊偉 (千葉大)・小林秀樹(JAMSTEC)・市井和仁 (千葉大)

1. はじめに

葉面積指数(LAI; Leaf Area Index)は植生の放射収支、光合成量、炭素吸収能力などに直結する重要なパラメータである。また、植生の展葉・落葉などフェノロジーとその変化の把握や気候変動、人為活動による植生の増減を把握するためにも広く利用されている。衛星観測は広域を高い空間解像度で繰り返し観測するため、衛星観測を利用した LAI の推定が広く行われてきた。従来型の衛星観測では、1日に約1回の頻度での同地点の観測であり、雲の存在により、8日以上の間隔でのデータ提供に留まっていた。さらに雲の多い地域や季節では欠損が頻発した。ひまわり 8号は、2015年7月から観測を開始した日本の静止気象衛星である。10分に1回の高い観測頻度に加え、ひまわり 7号より可視・近赤外域に複数の波長帯を持つようになり、陸面モニタリングへの期待が高まっている。ひまわり 8号を利用できれば、従来の衛星観測に比較して観測頻度が格段に増え、LAI 推定の時間間隔も短くできる。そこで、本研究は、植生の3次元放射伝達モデル FLiES を利用し、ひまわり 8号データから LAI を推定することを目的とした。

2. 方法

FLiES モデルは日本が 2017年に打ち上げた GCOM-C 衛星搭載 SGLI センサの FPAR/LAI プロダクト構築に際し、基盤放射伝達モデルとして利用されている。この FLiES を用いて LUT (Look-Up-Table) を植生タイプごとに構築した。LUT は太陽と衛星の幾何条件、LAI、地表面反射率を組み合わせたものを構築した。構築した LUT を用い、衛星で観測した大気補正を行った地表面反射率(band3,4)をパラメータとして用いることで LAI の逆推定を行った。また、雲被覆データを用いることで雲によって影響を受ける時間帯は除外した。現段階では、期間は 2018/7/21-31 の 0時-6時(UTC)、対象域は東経 125-150度、北緯 25-50度とした。

3. 結果と考察

対象期間、領域に対して、構築した LUT を用いて、LAI の逆推定を行った。精度検証として、Asiaflux の観測サイトで提供されている LAI データと比較し、KHW、HCH サイトらのデータを使用した。また、雲被覆データを使用の有無の精度も検証した。結果として、雲被覆データを使用したときの方が平均値も現地観測値に近く、標準偏差も小さくなり、良い変動を示すことがわかった。しかし、時間帯によるバラつきや一部飽和している値が散見された。

4. まとめ

本研究では、ひまわり 8号データを用いた LAI 推定の手法を検討した。今後の検討課題として、対象期間、領域を拡大した精度向上の実施やその他のサイト、プロダクトを用いた精度検証の実施が挙げられる。また、使用バンドを増やして、ランダムフォレストなどの機械学習を取り入れた手法を検討している。

ひまわり 8 号による半乾燥域における光合成量の推定

○住井章吾(千葉大), 山本雄平(千葉大), 市井和仁(千葉大)

1. はじめに

総一次生産量(GPP: Gross Primary Production)とは、光合成によって植生が大気から吸収した炭素量である。GPP は植生の生育状態と直接的な関係があるため、GPP の詳細な推定は、グローバルな炭素循環のみならず、森林や農地の環境応答の理解・把握にも重要である。

ひまわり 8 号は、アジア・オセアニア域を主な観測域とする日本の静止気象衛星である。本研究では、オーストラリアを対象領域とし、熱・水ストレスの大きい半乾燥域での衛星利用型 GPP 推定モデルの適用可能性を、ひまわり 8 号の 10 分という高時間分解能を活かして評価することを目的とした。

2. 方法

衛星観測データを用いた GPP 推定には、LUE (Light Use Efficiency) モデル(光利用効率モデル)が広く用いられている。LUE モデルでは、植生が吸収する光合成有効放射エネルギーに、エネルギーから炭素への変換効率、すなわち光利用効率(LUE)を掛けることで GPP を推定する。本研究では、GPP 推定には、MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) モデルと、EC-LUE (Eddy Covariance Light Use Efficiency) モデルを使用した。LUE は一般には気温の関数で表される温度ストレスと飽差の関数で表される水ストレスを考慮する。本研究では OzFlux に登録されているオーストラリアの 3 サイトを研究対象とした。3 サイトすべて、渦相関法による観測からフラックス分離された観測ベースの GPP を用いた。MODIS-GPP モデルと EU-LUE モデルのそれぞれについて、モデルパラメータのうちのいくつかを差分進化法により逆推定し、既存のパラメータを用いた場合と、最適化されたパラメータを用いた場合の比較を行った。

EC-LUE モデルは、一般的に光合成有効放射量、光合成有効放射吸収率、気温、飽差を入力変数として、最大光利用効率(LUE_{max})、光合成の最適温度(T_{opt})、水ストレスが 0.5 をとる際の飽差(VPD₀)を土地被覆ごとに異なるモデルパラメータとして扱う。モデルパラメータは、本研究の用途に合わせて、植生タイプに合うように、また日内変化を表現できるように適切な値に調整する必要があるため、差分進化法を用いて土地被覆ごとにパラメータの最適化を行った。太陽放射コンソーシアム (AMATERASS) に含まれる、ひまわり8号の短波放射推定データ、メソ数値予報モデルの気温・湿度のデータを使用した。短波放射データは 0.5 を掛けて光合成有効放射量として使用した。気温と湿度データからは、テテンスの近似式より飽差を見積もった。また MODIS プロダクツより土地被覆分類(MCD12Q1)、光合成有効放射吸収率(MOD15A2H)のデータを使用した。

3. 結果と考察

既存パラメータを用いた推定では、GPP 日内変動パターンは観測データと概ね一致しているが、過小・過大推定がされていた。パラメータを最適化すると MODIS、EC-LUE 共に観測データの再現性が高まった。しかし、MODIS モデルでは、最適化後パラメータにおいても、観測データとモデル推定の間大きなばらつきがみられた。一方、EC-LUE モデルでは特定の値に収束する傾向にあった。この結果から、MODIS モデルよりも EC-LUE モデルが、各サイトに適したパラメータを設定して GPP 推定を行うことができたといえる。

4. まとめ

本研究により、LUE モデルを用いた半乾燥域における GPP 推定は、パラメータの最適化を行うことで、既存モデルでみられた過小・過大推定が緩和できることがわかった。今後は測定期間を増やすとともに、温度・水ストレスが大きい猛暑における日内変動に着目して詳細な適用可能性評価をしていく。

陸域生態系モデル VISIT を用いた過去から現在の炭素循環の解析

○栗原茜（千葉大学）、Ruci Wang（千葉大学）、市井和仁（千葉大学）

1. はじめに

地球温暖化に代表される人為的な温室効果ガス排出に起因する気候変動の問題において、大気 CO₂ 濃度とその地球規模の循環は重要な役割を果たす。特に陸域は人為的な CO₂ 排出のおよそ 30% を吸収しているが、将来の気候変動により吸収能力が増大するか否か、そして、地球上のどこでどの程度 CO₂ 吸収量が増大するか減少するかの不確実性が高いとされている。その陸域 CO₂ の吸収・排出量を推定し予測するには、陸域炭素循環モデルが広く利用されている。一方で、そのモデルの再現性や予測不確実性が高いとされており、モデルの改善が急務となっている。本研究では、陸域生態系モデル VISIT を用いて、過去～現在の CO₂ 収支の変動、CO₂ 収支のうちの主要なフラックスである総一次生産量(Gross Primary Productivity; GPP)に関して、季節変動・年間値・経年変動に関して、観測データを基盤とするデータセットと比較し評価を行い、経年変動の要因を解析した。

2. 方法

本研究では、グローバル、1900-2015 年の期間を対象とした。VISIT モデルの動作にあたり、大気 CO₂ 濃度、気候パラメータ(気温・降水量・雲量・水蒸気圧)を入力とした。モデルの初期化(Spinup)を実施し、初期(1900 年)は平衡状態であると仮定した。さらに、モデルの出力の例年変動を解析するために、いくつかの感度実験を行った。VISIT と参照データとの比較においては、機械学習による推定結果を相互比較として利用した。

3. 結果と考察

参照データとの比較結果、VISIT との推定差が多い地域が複数見られた。推定差が大きい地域のうち、FLUXNET の観測地点と推定差の大きい地域の原因説明は今回できなかった。今後、モデルの検証はより詳細に進める予定である。また、GPP は 1901-2015 年の期間を通じて、グローバル合計値で増加していた。一方で、年々変動も検出された。全体的な GPP の増加は、感度実験の結果、CO₂ 濃度の上昇によって主にもたらされていた。また経年的な変動は、気候の年々変動が主な原因であった。

日本域におけるデータ駆動型土壌呼吸量広域推定モデルの構築と相互比較
○山貫緋称, 市井和仁, 山本雄平, 小槻峻司 (千葉大), 寺本宗正 (鳥取大),
孫力飛 (国環研), 永野博彦 (新潟大), 平野高司, 高木健太郎 (北海道大),
石田祐宣 (弘前大), 高木正博 (宮崎大), 安立美奈子 (東邦大), 近藤俊明 (国
際農研), 小嵐淳, 安藤麻里子 (原子力機構), 高橋善幸, 梁乃申 (国環研)

1. はじめに

地球温暖化などの気候変動は、人為活動により排出された二酸化炭素 (CO₂) を代表とする温室効果ガス濃度の上昇に起因すると考えられている。将来の大気 CO₂ 濃度を正確に予測するためには、人為的に排出された CO₂ のうち約 30% を吸収する陸域による CO₂ 収支を把握することが重要である。土壌呼吸 (根呼吸 + 土壌有機物分解) は、土壌から大気への CO₂ 放出であり、今後の気温上昇によって増加すると予想されている。土壌呼吸量を広域で把握できれば、将来の気候変動に対する陸域の応答を把握する一つの材料となる。近年、土壌呼吸データを文献値から収集することによって土壌呼吸量が推定されてきた。しかし、これらの研究は観測者による測定方法の差異を考慮しておらず、月間値より短いタイムスケールでの推定がなされていない。そこで本研究では、観測手法の統一されている土壌呼吸量観測値と気象パラメータ (日本域 8 サイト)、衛星観測データなどを使用し、機械学習手法を用いて日本における土壌呼吸の時空間変動を推定することを目的とする。

2. 方法

国立環境研究所提供の日本国内に分布する自動開閉チャンバー式測定システムが設置されている 8 地点を対象とした。サイトにおいて観測されたパラメータのうち、本解析では土壌呼吸フラックスと気象パラメータを使用した。また、現地観測由来のパラメータとして陸面過程モデル SiBUC (Tanaka, 2004) により推定された気象パラメータを使用した。さらに、衛星観測データとして米国 Terra/Aqua 衛星に搭載の MODIS センサからの陸域プロダクトである地表反射率・地表面温度・葉面積指数を使用した。地表反射率からは正規化植生指数と正規化水指数を算出して使用した。炭素パラメータとしては、推定された光合成量 (Ichii et al., 2017) と土壌有機炭素量 (FAO, 2019) を用いた。土壌呼吸推定モデル構築には、機械学習手法の一つであるランダムフォレスト回帰を使用した。まず、8 サイトのうち 7 サイトのデータを訓練データ、残り 1 サイトのデータをテストデータとするサイト評価を行い、モデルの性能を評価した。最後に全てのデータを用いてモデルを構築し、日本域の土壌呼吸量を広域推定した。

3. 結果と考察

実験より、特に温度パラメータ (気温・地温・地表面温度) が土壌呼吸量推定に重要であるとわかった。同様に、正規化植生指数と光合成量の重要度が大きくなった。一方で、本解析で使用した一部の水分パラメータ (降水量・土壌水分) では土壌呼吸量の推定が不可能であった。重要度が高いと判断された複数のパラメータを用いて構築されたモデルは、土壌呼吸量を 8 日平均のスケールで推定し、土壌呼吸の季節変化をとらえていた。広域推定のモデルは、緯度にとらわれない推定が可能であり、既往研究のモデルと比べサイト別の土壌呼吸量の差異をより明確に表現していた。

水分変動増大が土壌の二酸化炭素放出に及ぼす影響：国内6カ所10土壌の培養実験による検証

鈴木 優里（新潟大）、○永野 博彦（新潟大）、神田 裕貴（新潟大）、平舘 俊太郎（九州大）、安藤 麻里子（原子力機構）、小嵐 淳（原子力機構）

1. はじめに

近年観測され始めた降雨頻度減少と強度増大は土壌水分の変動を増大させ、地球上で最大級の二酸化炭素（CO₂）放出経路である土壌有機物分解由来のCO₂放出を大きく増大させる可能性がある。しかし、そのCO₂放出増大現象の全容、特に放出増大量の土壌間での違いやその変動要因はほとんど解明されていない。本研究では、水分変動増大を模した乾湿サイクル条件の培養実験を複数土壌で実施し、水分変動増大に伴うCO₂放出増大量の土壌間での違いを解明する。

2. 方法

乾湿サイクル条件と水分変動のない対照区の2処理区を設定した84日間の培養実験を国内の森林等6か所で採取した10土壌で実施した。乾湿サイクル条件では、乾燥と再湿潤の繰り返しを28日間で1回行った。培養期間全体での平均土壌水分量は2つの処理区で等しくなるように土壌水分を調整した。培養中、CO₂放出速度を定期的に測定した。

3. 結果と考察

乾湿サイクル条件のCO₂放出速度は土壌水分の変動に伴い大きく変動し、乾燥後の再湿潤時におけるCO₂放出速度は対照区よりも最大9倍大きかった。再湿潤時の放出速度と対照区の放出速度との差で定義した乾湿サイクルによるCO₂放出増加量は、土壌採取時の土壌含水比と有意に順相関していた。

4. まとめ

乾湿サイクルにより土壌有機物分解由来のCO₂放出速度は大きく増大する一方、その放出増大量は土壌の理化学性、特に土壌の水分保持能力に強く影響されている可能性が示された。

高山帯ハイマツ生態系において渦相関法で測定した蒸発散の分離
○山崎隆広（信州大学），鎌倉真依（京都大学），岩田拓記（信州大学）

1. はじめに

現在，世界中の陸上生態系において渦相関法による蒸発散測定が行われている．渦相関法による測定自体は蒸発と蒸散を区別することができないが，蒸発と蒸散では制御要因が異なるため，蒸発散の分離がそれぞれの水蒸気放出過程の制御要因を明らかにする上で重要である．気孔を通じた蒸散量は総一次生産量と関連があり，これまでに水利用効率の概念を用いた蒸発散の分離手法が提案されている．本研究では，高山帯ハイマツ生態系において渦相関法による蒸発散量の連続観測をおこない，分離手法を適用して蒸発・蒸散の制御要因を明らかにすることを目的とする．

2. 方法

木曾山脈の将棋ノ頭（標高 2,640 m）付近のハイマツ生態系にて渦相関法を用いて，蒸発散量と CO₂ 交換量の測定を行った．ハイマツは樹高約 0.35 m であり，夏季の葉面積指数は 4.6 であった．渦相関法による観測は，2019 年は夏季のみ，2020 年 6 月以降は通年で実施した．微気象の観測は通年で行った．また，2021 年 7 月に携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400）を用いて個葉の純光合成速度と蒸散量を測定した．

蒸発散分離手法では，生態系スケールにおける水利用効率を蒸発散量に対する総一次生産量と飽差の平方根の積の比で定義する．樹冠や地表面が乾燥し，蒸発の寄与が無くなる時にこの水利用効率が最大となる．これより水利用効率の実際の値と最大値の比から蒸発散における蒸散の寄与率を計算することができる．

3. 結果と考察

蒸発散量は冬季に低い値となり，雪解け後に上昇し始めた．その後，梅雨時期には日射の低下により蒸散量は減少し，再度，8 月下旬まで上昇する傾向がみられた．その後，冬季に向かって気温低下とともに蒸散量は減少した．

蒸発散の分離過程で決定した 3 年間の各年の最大水利用効率は，8.3～8.8 gC hPa^{0.5} / kgH₂O の範囲であり，年による違いは大きくなかった．個葉スケールにおける水利用効率は，6.6～8.6 gC hPa^{0.5} / kgH₂O の範囲であり，平均値は 7.6 gC hPa^{0.5} / kgH₂O であった．したがって，最大水利用効率は生態系スケールと個葉スケールで同程度であり，生態系スケールの値は妥当であると言える．先行研究の常緑針葉樹サイト（12.48 gC hPa^{0.5} / kgH₂O）や農作地サイト（12.97 gC hPa^{0.5} / kgH₂O）の値と比較すると，ハイマツの最大水利用効率は小さかった．

蒸散の寄与は冬季では概ね数%以下であり，積雪と低温により蒸散が制限されていたと考えられる．雪解け以降は蒸散量の割合は上昇し，5 月から 10 月までの間に 80%を超える日も観測された．蒸散量の割合が大きくなるのは，気温が高い晴天日が連続で続く時であり，樹冠や地表面が乾燥し蒸発量が小さくなったためだと考えられる．また，降水が起こった直後は蒸散の寄与が低下していた．葉面の湿り具合と蒸散量の割合の間の相関係数は -0.69 であった．このことから分離結果は定性的に妥当であると言える．

山岳地域の高山帯・低山帯生態系の二酸化炭素交換の特性の違い
○田邊憲伸（信州大学），岩田拓記（信州大学），斎藤琢（岐阜大学），
深山貴文（森林総合研究所），村山昌平（産業技術総合研究所）

1. はじめに

日本の自然生態系の多くは山岳域に分布しており，その二酸化炭素（CO₂）収支の解明は気候変動予測において重要である．しかし，特に森林限界上を優占するハイマツに関しては連続測定が不足しており，そのCO₂交換特性の詳細がわかっていない．そこで本研究の目的は，ハイマツ生態系での通年の渦相関観測を実施するとともに，低山帯で測定された渦相関データを用いて，山岳域の生態系間のCO₂交換の特性の違いを明らかにすることとした．

2. 方法

木曾山脈の将棋ノ頭（標高 2640 m）付近のハイマツ生態系（NKM）にて渦相関法を用いてCO₂フラックスの測定を行った．フラックス観測は2018-2019年に夏季のみで，2020年6月以降に通年で実施した．低山帯として高山市のスギ林（TKC，標高 800 m，2006-2010年測定）とカバノキやミズナラが優占する落葉広葉樹林（TKY，1420 m，1998-2007年測定），富士吉田市のアカマツ林（FJY，標高 1030m，2012-2015年測定）で測定されたデータを用いた．

CO₂フラックスの総一次生産量（GPP）と生態系呼吸量（R_{eco}）への分離を行い，それらの季節変化，経年変化および微気象変化に対する応答を調べた．また光合成の生理特性を調べるため，フラックスデータから群落スケールの最大カルボキシル化速度（V_{cmax}）を逆算した．

3. 結果と考察

NKMではCO₂吸収は雪解け直後の5月初旬に始まっていた．夏季にその平均値は最大となり，平均正味CO₂吸収量は12.71 μmol m⁻² s⁻¹であった．CO₂吸収は平均気温が0°Cになり積雪が開始する10月下旬には終わっていた．夏季積算のGPPは43.70から59.88mol m⁻²で，2019年で最も高かった．また夏季積算のR_{eco}は平均気温に依存し23.40から27.60mol m⁻²で，2019年が最も小さかった．結果として，夏季の積算CO₂吸収量は2019年が最も高く，35.03 mol m⁻²であった．

各サイトの気象データを比較すると入射短波放射量はあまり違いが見られなかったが，気温や飽差は標高が高くなるにつれて低くなった．夏季のGPPは標高の低いTKCとFJYで同等で，標高の高いTKYとNKMでは同等で，標高の低い2サイトよりも小さかった．夏季のR_{eco}はFJY，TKC，TKY，NKMの順で大きかった．夏季の正味CO₂吸収量はFJYが最も低く，その他サイト間での違いは小さかった．NKMは高標高のわりにGPPが大きく，低温のためR_{eco}は小さかった．また，CO₂吸収期間の長さはTKCとFJYが長く，NKMはより標高の低いTKYとCO₂吸収期間の長さが同じぐらいであった．結果として，積算CO₂吸収量は標高の高いTKYとNKMで同等で，TKC，FJY，TKY，NKMの順で大きくなっていった．

V_{cmax}の値は気温と共に増加しており，V_{cmax}と気温の関係はサイトによって大きく異ならなかった．これは葉面積指数が同程度であったことが理由だと考えられる．

微気象学的手法と生態学的手法に基づく都市近郊丘陵地森林における炭素収支の推定

○若林大雅（明治大）、矢崎友嗣（明治大）、高木健太郎（北海道大）、
松田和秀（東京農工大）

1. はじめに

森林は多面的機能を持ち、特に都市の中では大気中の二酸化炭素（CO₂）吸収や、快適環境形成機能をもつことから、重要であるとされている。また、全球レベルでの炭素動態の解明が必要とされている中で、都市近郊の森林生態系の炭素収支を明らかにすることは将来の気候変動を予測する上でも重要である。森林生態系の長期的な炭素収支については多くの研究が行われているが、都市近郊の森林において微気象学的手法（フラックス）や土壌呼吸観測、生態学的手法による計測（現存量・落葉量）といった複数の手法によって炭素動態を検討した研究例は少ない。本研究では関東の都市近郊丘陵地森林において炭素収支を複数の手法で推定した。

2. 方法

観測地は東京都八王子市に位置する東京農工大学 FM 多摩丘陵（35.64° N, 139.38° E）の落葉広葉樹林である。主要樹種はコナラで、林床の優占種はアズマネザサである。敷地内稜線上の観測タワーにて2013年7月より地上32 mの高さにおいて渦相関法によるCO₂フラックス（NEE）の観測を継続している。主風向風上側の森林の縁はタワーから250 m 離れている。観測されたデータはクオリティチェックを行って異常値を除去し、さらに寄与率70%のフットプリントの距離が250 m 以上の場合は除去した。除去されなかったデータについて、Flux Analysis Tool（Ueyama et al., 2012）を用いて欠測値補間を行った。また、タワー周辺で2021年以降、現存量（木本バイオマス）を毎木調査法で、落葉量をリタートラップ法によってそれぞれ測定した。さらに、土壌呼吸速度と微生物呼吸速度をクロズドチャンバー法によって測定し、これらと5 cm 深の地温との関係から5 cm 深地温の連続データを用いて年間の土壌呼吸量及び微生物呼吸量を算出した。

3. 結果と考察

NEE は明確な季節変動がみられた。展葉後 NEE が負（吸収）となり、落葉後は NEE が正（放出）となった。なお、冬季において日中の NEE は負であり、下層植生の光合成による CO₂ 吸収が示唆された。長期間欠測のなかった年（3年）の年平均 NEE は $-2.98 \pm 0.87 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。2020～2021年の土壌呼吸量（Rs）は、 $7.18 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、微生物呼吸量（Rh）は $4.91 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。2020～2021年の地上部の純一次生産量（NPP）は、 $6.11 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。生態学的手法で計算した純生態系生産量（NEP）は $1.20 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であり、渦相関法から計算される2020年の NEP（= -NEE）は $3.89 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。

4. まとめ

今回生態学的手法で計算した NEP は下層植生や地下部の NPP が含まれていないことに留意が必要である。また、本サイトでは2019年からカシノナガキクイムシによるナラ枯れが広がっており、コナラの枯死萎凋が増加している。炭素吸収機能への影響について解明が求められる。

安定同位体比を用いた生育初期段階における水田からの温室効果ガスの測定
 ○後藤優治(明治大学大学院), 土井俊弘(明治大学大学院), 関航太郎(明治大学大学院), 小宮秀治郎(マックスプランク研究所), 登尾浩助(明治大学)

1. はじめに

近年の気候変動は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)などの温室効果ガスが大気中へ過度に人為的に排出されることが主な要因と考えられている。なかでもCH₄はCO₂の28倍の温室効果を持っている。日本国内においてCH₄排出量は工業、農業、廃棄物など多岐にわたる(IPCC, 2021)。またCH₄総排出量は1990年代から2010年代にかけて減少している一方で農業由来のCH₄排出量割合は増加している(国立環境研究所, 2021)。農業由来のうち24%は稲作からの排出量である。CH₄の排出量は生成量から酸化量を差し引いたものである。Zhangら(2012)は炭素安定同位体比を使用しCH₄酸化能および生成能の測定を行った。しかし生育初期段階における、CH₄排出量および安定同位体比の変化については言及していない。そこで本研究では、水田からの生育初期におけるCH₄の排出量および炭素同位体比の日変化を評価した。

2. 方法

本実験は東京都府中市内にある東京農工大学付属圃場(FM本町)の実験水田で行った。測定期間はFig.1に示す。その期間のCH₄濃度、CO₂濃度、地温、酸化還元電位を用いた。温室効果ガス排出量の測定にはチャンパー法を用いて算出した。チャンパーにフタをしてから20分間CH₄濃度と炭素安定同位体比をPICARRO社製分析計(G220-i)で測定した。安定同位体比は(1)式のように既知の標準試料との千分率偏差(‰)として表わした(中野, 2016)。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{試料}}$ はCの安定同位体比を、 $(R_{j/i})_{\text{試料}}$ は試料中の同位体存在比率を示し、 $(R_{j/i})_{\text{標準試料}}$ は標準試料中の同位体存在比率を示す。jは¹³C, iは¹²Cを表す。0分後と10分後の安定同位体を使用して10分当たりの安定同位体比の変化を算出した。

測定期間	
2016年	6/26(DAT26) ~ 7/4(DAT34)
2017年	6/20(DAT26) ~ 6/27(DAT34)
2018年	6/19(DAT26) ~ 6/26(DAT34)

Fig1. 各年の測定日時

$$\delta^j X_{\text{試料}} = \left(\frac{(R_{j/i})_{\text{試料}} - (R_{j/i})_{\text{標準試料}}}{(R_{j/i})_{\text{標準試料}}} \right) \times 10^3 \quad \dots (1)$$

3. 結果と考察

各年のCH₄の排出量を図1に示す。CH₄は2017年においては昼に排出されていた。また2017年の品種はほかの年と異なる品種だったため排出量が多くなったと考えられる。¹³CH₄の変化を図2に示す。2016, 2018年の¹³CH₄は-70‰で推移してた。2017年に関しては-60‰で推移していた。日変化による傾向が見られなかったことからCH₄の生成量および酸化量は変化していないことが分かった。

4. まとめ

CH₄排出量は2017年では昼夜の変化では見られた。これは地温によるものだと考えられた。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ に関しても2017年のほうが重いCH₄が排出されていた。これらは品種によるものだと考えられる。

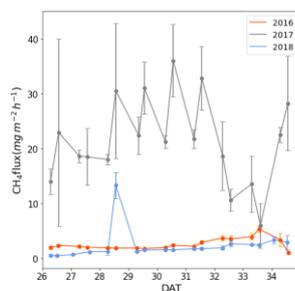


図1. 各年のCH₄排出量

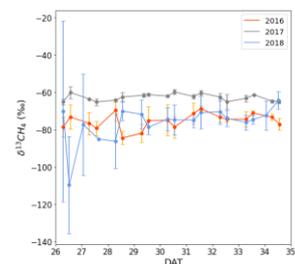


図2. 各年の $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$

諏訪湖における一酸化二窒素放出量の日変化と変動要因

○川岸駿太（信州大学），岩田拓記（信州大学），高橋けんし（京都大学）

1. はじめに

一酸化二窒素（ N_2O ）は温室効果気体の一つであり，また成層圏オゾンの破壊に寄与する．湖は N_2O の放出源として知られており，先行研究では北方湖から 0.03 から $0.10 \text{ nm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 程度の放出が報告されている．一般的に湖からのガス放出は湖上の風速の変化や湖の混合によって日内で変化することが考えられるが，これまでの研究では分析手法による制限により N_2O 放出の日変化について調査されていない．そこで本研究では，野外で高頻度・高精度で連続測定することができる最新の分析計を用いて，諏訪湖からの N_2O 放出の日変化を測定し，その変動要因を明らかにすることを目的とする．

2. 方法

観測サイトは長野県の中央部に位置する諏訪湖である．諏訪湖は平均水深約 4m の浅い湖であり，周辺河川からの栄養塩の流入が盛んな富栄養湖である． N_2O 濃度測定には Aeris Technologies 社の MIRA Ultra $\text{N}_2\text{O}\&\text{CO}$ 計を使用した．この測定器は，吸収分光法によって N_2O 濃度を 1 Hz で測定・出力することができる． N_2O 放出量はフローティングチャンバーを用いて，湖岸の棧橋 3 地点で 1 時間おきに測定した．同時に水温，堆積物温度，溶存酸素濃度，風速，波高の平均値も得た．観測は 7 月 7 日と 7 月 14 日の午前中，8 月 25 日と 8 月 28 日と 10 月 12 日の日中に実施した．夏季には棧橋周辺に浮葉植物のヒシ (*Trapa japonica Flerov*) が繁茂し，測定日によってヒシが水面に繁茂している地点とそうでない地点があった．また，8 月 28 日と 10 月 12 日には 3 深度での溶存 N_2O 濃度をヘッドスペース法にて分析した．

3. 結果と考察

諏訪湖で測定された N_2O 放出は -0.03 から $0.20 \text{ nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲であった． N_2O 放出量は夏季に小さく，10 月 12 日に最も大きかった．ヒシの密度が低かった 7 月 7 日と 7 月 14 日はヒシの有無による放出量の大きな違いが見られなかったが，ヒシが繁茂していた 8 月 28 日はヒシのない地点でヒシのある地点よりも放出量が大きくなった．ヒシの繁茂が水面の乱れを抑制するため，風が強い 8 月 28 日には，ヒシのある地点では交換速度が抑制されたと考えられる．

日変動に注目すると，午後に風速が上昇するとともに，放出量が大きくなる傾向を示した．風速が大きくなることにより波高が大きくなり，湖水－大気境界での交換速度が増加していると考えられる．溶存 N_2O 濃度は 8 月 28 日に午前中に湖底で大きな値を示しており， N_2O が湖底付近で生成され，安定成層の湖水深層に溜まっていることを示唆している．午後に向けての風速の上昇とともに湖底の濃度が低くなった後に，湖面の濃度は上昇していった．これが午後の放出量の増大に寄与していた可能性がある．10 月 12 日は一日を通して表層で溶存 N_2O 濃度が大きな値を示し，その濃度は 8 月 28 日の湖底の濃度よりも高かった．そのため，この日の放出量は観測した日のうち最大になったと考えられる．10 月には湖水が好氣的になっており，表面には藻類が発生していた．表層付近でこれらに関した何らかの N_2O 生成プロセスがあったと考えられる．

浅い富栄養湖からの CH₄放出の経年変動の制御要因

○山田基・岩田拓記・宮原裕一（信州大学）

1. はじめに

湖は重要な温室効果ガスであるメタン（CH₄）の主要な放出源のひとつであるため、気候変動予測をする上で、湖からの CH₄放出の変動およびその制御要因の解明が求められる。湖からの CH₄放出は、温暖化によって増加することが予測されており、富栄養化や水生植物の存在も放出の変動に影響を及ぼすことが指摘されている。しかし、湖からの CH₄放出を複数年にわたって観測した例は数少なく、湖からの CH₄放出の経年変動がどのような影響を受けているのかは明らかとされていない。そこで、本研究では6年間の観測データを用いて、富栄養湖である諏訪湖からの CH₄放出の経年変動の制御要因を解明することを目的とした。

2. 方法

研究対象地域の諏訪湖は、長野県中部に位置する浅い富栄養湖である。諏訪湖は夏に植物プランクトンのブルームが発生し、岸付近には浮葉植物であるヒシや沈水植物であるクロモが繁茂する。湖南東の棧橋で渦相関法を用いて CH₄フラックスを観測した。同時に気象、湖内環境の観測も行った。観測期間は約6年（2016年6月～現在）である。渦相関法で得られた CH₄フラックスに対して、先行研究（Iwata et al., 2018）で提案される手法を用いて、30分ごとに拡散およびバブルフラックスに分離した。

3. 結果と考察

CH₄フラックスは高温になるほど CH₄生成が多くなるという報告と同様に、気温に追従した季節変化を示した（Fig.1）。研究期間内において、8月のフラックスは2017、2019、2021、2022年と比較的大

きく、2016、2018、2020年と隔年で小さくなる変化が見られた。現状では、夏季の CH₄フラックスの経年変化と温度との関連性は見られず、湖心のクロロフィル a 濃度との関連性もみられなかった。しかし、2016年から2019年の期間内において、長野県水産試験場諏訪支場によって調査された諏訪湖全域における夏季の水生植物の繁茂面積の変動（Fig.2）と夏季の CH₄フラックスの経年変動に関連性が見られた。

過去の研究から、水生植物は CH₄放出に様々な影響を与えることが報告されている。本研究では、諏訪湖において水生植物の繁茂が CH₄放出を増加させることが示唆された。クロモもヒシも根を湖底堆積物中に張らせており、光合成産物の根からの滲出物が CH₄生成量の増加につながり、結果として諏訪湖からの CH₄放出を増加させている可能性がある。一方、ヒシは風による湖面かく乱を低下させ、大気-湖水間のガス交換効率を低下させていることが考えられるが、その影響は諏訪湖では大きくないかもしれない。

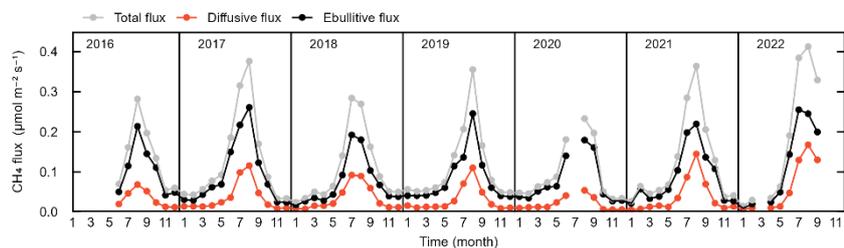


Fig.1 CH₄フラックスの時系列図

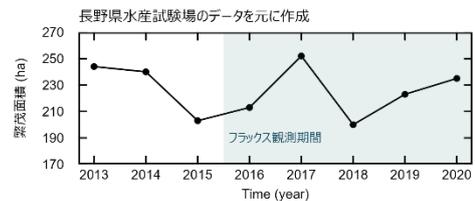


Fig.2 諏訪湖における水生植物の繁茂面積（対象植物：ヒシ、クロモ、エビモ）

異なる自生性有機物の添加に対する富栄養湖堆積物中のメタン生成応答の違い

○Yang Chun Jet (信州大学)、岩田拓記 (信州大学)、朴虎東 (信州大学)、宮原裕一 (信州大学)、伊藤雅之 (兵庫県立大学)

1. はじめに

湖は強力な温室効果ガスであるメタン (CH_4) の主要な自然発生源である。近年、温暖化に加えて、富栄養化が湖からの CH_4 放出を促進することが提案されている。湖の富栄養化は植物プランクトンの大量発生につながり、湖底に沈降した植物プランクトンの死骸が分解されることでできる酢酸などが CH_4 生成を促進すると考えられる。先行研究では、いくつかの栄養状態の違う湖堆積物への藻類の添加によって CH_4 生成が促進されることが培養実験により確認されている。さらに環境の異なる湖での調査や添加する有機物の種類が CH_4 生成に及ぼす影響の研究が必要とされている。本研究では、富栄養湖である諏訪湖の湖底堆積物を対象に培養実験を行うことで、異なる自生性有機物の添加に対する CH_4 生成の応答を明らかにすることを目的とする。本発表では予備実験の結果について報告する。

2. 方法

諏訪湖は長野県中央部に位置する浅い湖である。栄養レベルは富栄養であるが、1970年代以降アオコの発生量は減少しており、中栄養への移行期間であると考えられている。諏訪湖で実施している渦相関法によるメタン放出観測地点付近にて堆積物コア2本を採取した。2本の堆積物コアの表層4cmをよく混合してバイアルに蒸留水とともに入れ、藻類(培養された藍藻と珪藻)と水生植物(乾燥の粉末にしたヒシとクロモ)を堆積物湿重量あたり5mg添加し、25℃で約一週間の培養実験を実施した。さらにコントロール区と藍藻添加区については蒸留水の代わりに湖水を入れた処理区も用意した。コントロール区と各処理区は5レプリケート用意した。およそ1日ごとにバイアル内のヘッドスペースの CH_4 濃度を水素炎イオン化検出器を実装したガスクロマトグラフ(GC-FID)で分析し、その濃度上昇から生成速度を算出した。

3. 結果と考察

培養期間中にヘッドスペースの CH_4 濃度は直線的に増加しており、 CH_4 生成速度はほぼ一定であったと考えられる。すべての有機物添加処理区のヘッドスペースの CH_4 濃度は実験開始数日後にはコントロール区よりも増加しており、有機物添加が CH_4 生成速度を促進していた。添加した有機物が分解され、 CH_4 生成の基質が供給されたと考えられる。

有機物添加処理区間の違いに着目すると、藍藻、ヒシ、クロモ添加処理区間では CH_4 生成速度の大きな違いが見られなかった。しかしながら、珪藻添加区では CH_4 生成速度は他の添加区よりは小さかった。珪藻はケイ素を含んでいるため、他の有機物と同じ重量の珪藻を添加しても CH_4 生成を促進する有機物量の割合は少ないと考えられる。

コントロール区においては湖水を入れた場合の方が蒸留水を入れた場合に比べて CH_4 生成速度が大きくなっていった。しかし、藍藻添加処理区においては両者の違いが見えなかった。