日本農業気象学会関東甲信越支部２０２４年度例会

講演要旨集

２０２４年１２月５、６日

宇都宮大学　峰キャンパス

一過性遺伝子発現法による植物利用型有用タンパク質生産:
遺伝子導入後の光合成促進による生産量向上の試み

〇桐島 健太朗, イ ジユン, 富士原 和宏, 松田 怜（東大院農）

1. はじめに

植物工場内で、植物を利用して医薬品原材料等の有用タンパク質を生産する方法には、細胞培養などの従来法と比較して、生産コストが低い、生産規模の調節が容易などの利点がある。その一手法である一過性遺伝子発現法では、有用タンパク質などの遺伝子を有する組換えアグロバクテリウムの懸濁液に、タバコ属の１種であるベンサミアナタバコの地上部を浸漬し、減圧・復圧操作により懸濁液を葉の細胞間隙に浸潤させる。組換えアグロバクテリウムが感染すると遺伝子が導入され、体内で有用タンパク質が発現する。株あたり有用タンパク質生産量（P_{plant}）は、収穫時の株あたりバイオマス（B_{plant}）とバイオマスあたり有用タンパク質含量（P_{mass}）の積で表される。これまで、P_{mass} の増大に適した環境条件が調べられてきた（松田・的場, 2022）一方、特に遺伝子導入後に、B_{plant} を大きくすることで P_{plant} を大きくする方法は検討されていない。本研究ではまず、有用タンパク質の種類などの異なる種々の条件で、純光合成速度（P_n）を測定した（実験 1）。次に、特に遺伝子導入処理直後の P_n を高める環境制御により、P_{plant} を大きくすることを試みた（実験 2, 3）。

2. 方法

播種後 34–40 日目に、ベンサミアナタバコ 3 株の P_n を開放型同化箱法により連続測定した。測定中の明期を 16 h d^{-1}、培地上面の明期 PPFD を 200 μmol m^{-2} s^{-1}、気温を 21 °C（Matsuda et al., 2017）とした。播種後 35 日目の明期開始後 0.5～1.5 h に遺伝子導入処理に供した。導入時および収穫時の葉面積の測定値を線形で内挿・外挿し、各日の葉面積あたり P_n（P_{nL}）を算出した。実験 1 では、有用タンパク質の種類（ヘマグルチニン（HA）、コレラ毒素 B サブユニット（CTB）、および緑色蛍光タンパク質（GFP））、その細胞内の蓄積箇所、および有用タンパク質発現量を高めるための植物ウイルス由来遺伝子の有無の異なる条件（表 1）で P_n を測定した。実験 1 の結果に基づき、細胞間隙への緩衝液の浸潤による葉内のガス拡散の抑制を改善することで 0 日目の P_n を大きくできると考え、実験 2 では HA1 区の条件のみを用い、0 日目明期に CO_2 濃度 2,500 μmol mol^{-1} または PPFD 700 μmol m^{-2} s^{-1} とした場合の P_n を測定した。実験 3 では、明期 CO_2 濃度 400 μmol mol^{-1}、明期 PPFD 200 μmol m^{-2} s^{-1} とした対照区、0–1 日目のみ明期 CO_2 濃度 1,500 μmol mol^{-1}（HC）、明期 PPFD 700 μmol m^{-2} s^{-1}（HP）とした HC 区、HP 区、および HCHP 区で、B_{plant}、P_{mass}、および P_{plant} を測定した。

表 1　実験 1 の試験区

試験区	有用タンパク質	タンパク質発現箇所	ウイルス遺伝子
HA1区	HA	小胞体	○
HA2区	HA	アポプラスト	○
CTB区	CTB	小胞体	○
GFP区	GFP	細胞質	×

3. 結果と考察

実験 1: 全ての試験区で、明期 P_{nL} は遺伝子導入処理直後の数時間は特に低く推移し、2 日目にかけて回復した後、再び減少に転じた。P_{nL} の傾向は有用タンパク質の種類などによらず概ね共通であった。0–1 日目の P_{nL} の減少は、組換えアグロバクテリウムを含まない pH 緩衝液のみを浸潤させた場合にも見られた（桐島ら, 2023）ため、細胞間隙への緩衝液の浸潤が原因と考える。**実験 2, 3:** CO_2 濃度および PPFD を高めることで 0 日目の P_{nL} が増加し B_{plant} は大きくなった一方、HC 区、HCHP 区で P_{mass} が小さい傾向にあり、P_{plant} は同程度であった。P_{plant} が大きくならなかった理由として、遺伝子導入処理後に新たに生じた細胞では収穫までに有用タンパク質の蓄積が起こらないか、または細胞のサイズが大きくなってもその細胞内での発現量は大きくならない可能性が考えられる。

栽培時の地温がタマネギの鱗茎肥大および生育に及ぼす影響

○木内大空・宇根和司・池田裕樹（宇都宮大学）

１．はじめに

タマネギ（*Allium cepa L.*）は，国内で年間約 117 万トンが収穫されている主要な野菜であり（農林水産省，2023），その生産性は可食部（鱗茎）の肥大程度により決定する．鱗茎の肥大には，日長と温度が影響することが知られている．気温が鱗茎肥大に及ぼす影響について調査した先行研究では，同一の日長でも気温が高い条件下で栽培したタマネギは，鱗茎を構成する肥厚葉の枚数が高温の影響で減少し，鱗茎が小さくなることが明らかにされている（Ikeda et al., 2019）．しかし気温の変化には地温の変化も伴うこと，およびタマネギの成長点（茎頂）が生育期間を通じて地下にあることから，タマネギの生育は気温よりも地温の影響を受けていると推察される.そこで本研究では,タマネギの鱗茎肥大に地温が及ぼす影響について研究を進めた.

２．方法

栽培試験は，‘ソニック’（タキイ種苗（株））と‘もみじ 3 号’（（株）七宝）の 2 品種を用い，宇都宮大学農学部附属農場（栃木県真岡市）のガラス温室で行った．2023 年 9 月 14 日に播種し，約 2 か月育苗した後，2023 年 11 月 9 日に直径 18 cm のスリット鉢に定植した．加温用電気マット（農電園芸マット，日本ノーデン（株））を敷設し，一部の個体についてスリット鉢の底面を 2024 年 2 月 14 日から加温した．加温区と無加温区のいずれの試験区も，温度センサー（TR-52i,（株）ティアンドデイ）で，地表部から深さ約 5 cm の地温を計測し，日平均地温，積算地温，平均地温を求めた．生育調査では，累計展開葉数や鱗茎の直径などを調査した．

３．結果と考察

加温区と無加温区で地温を測定した結果,加温を開始した 2 月 14 日から調査を完了した 6 月 12 日までの期間中に，日平均気温で約 2.5℃，日積算気温で約 280℃の違いが生じた．収穫時には，‘ソニック’と‘もみじ 3 号’のいずれの品種においても，加温区と無加温区で累計展開葉数や鱗茎の直径などに違いが見られた.累計展開葉数は加温区で無加温区よりも少なく,‘ソニック’は加温区で約 14.5 枚，無加温区で約 16.0 枚，‘もみじ 3 号’は加温区で約 16.7 枚，無加温区で約 19.5 枚であった．鱗茎径に関しても加温区は無加温区よりも小さくなり，‘ソニック’は加温区で約 71 mm，無加温区で約 81 mm，‘もみじ 3 号’は加温区で約 58 mm，無加温区で約 73 mm であった．タマネギは気温が高いと累計展開葉数が減少し，鱗茎が小さくなるが（Ikeda et al., 2019），地下部のみを加温した本研究でも同様の傾向がみられた．また本研究では，気温や日長など，地温以外の条件は加温区と無加温区で同一である．そのため本研究で確認された加温区と無加温区における生育の違いは，地温の違いにより生じていると考えられた．

４．まとめ

本研究により，タマネギの生育や鱗茎肥大には気温より地温の影響が大きいこと，すなわち地下部で温度を感知している可能性が示唆された．タマネギの生産性に温度が影響することは明白であるものの，その詳細なメカニズムは不明な点が多い．温度がタマネギの生育や鱗茎肥大に及ぼす影響について，遺伝子の解析なども行いながら，引き続き研究を進めていく．

降雨エネルギーを考慮したWEPPによる土壌侵食の解析方法の提案

○近藤航樹（宇都宮大学大学院地域創生科学研究科）
大澤和敏（宇都宮大学農学部）

１．はじめに

近年，気候変動の影響により，降雨が激甚化しつつある．降雨が引き起こす水食は農地土壌の劣化要因であり，将来的な増加が懸念されている．日本では土壌侵食解析にUSLEが広く利用されているが，このモデルには将来予測の妥当性や短時間降雨への適用に課題がある．一方，WEPPは侵食過程を物理的に再現するプロセスベースのモデルであり，将来予測に適用できる可能性が期待される．WEPPでは，雨滴による侵食であるインターリル侵食は降雨強度を指標に評価されるが，地域やイベントごとに雨滴径などの降雨の特徴が異なるため，同じ降雨強度であっても解析精度に影響を与えることが懸念される．そこで本研究では，降雨の特徴の差異が侵食量に与える影響を検討し，WEPPにそれを反映する手法を提案する．

２．方法

複数の降雨強度を再現できる降雨装置（テクノコア）を用いて，インターリル侵食試験を行った．この降雨装置には2種類のノズル（標準ノズル，豪雨ノズル）が搭載されており，それぞれ最大2 mm，4 mmの雨滴を表現できる．降雨装置による人工降雨について，ディスドロメータ(THIES)を用いて雨滴径および落下速度の分布を測定し，降雨エネルギーを算出した．得られた降雨エネルギーと侵食量の関係を整理し，受食係数（土壌固有の侵食の受けやすさ）として表現することで，短時間・高強度の自然降雨に対する侵食をWEPP上で再現した．

３．結果と考察

標準ノズルと豪雨ノズルでは，同じ降雨強度に対して降雨エネルギーが異なり，豪雨ノズルでは標準ノズルと比較して，単位降水量あたりの降雨エネルギーが約2.2倍となった．インターリル侵食試験の結果，用いたノズルの違いによって算出される受食係数が異なった．これらのことから，インターリル受食係数を求める際に降雨の指標として降雨強度だけを考慮するのでは不十分であることが示唆された．

そこで，受食係数を求める際の変数として用いられる降雨強度を単位時間あたりの降雨エネルギーに置き換えた結果，ノズルの違いによらず1本の近似直線が得られた．これにより，インターリル侵食は降雨強度よりも降雨エネルギーと強い関係があることが示された．

WEPP を用いて自然降雨のエネルギーを反映した受食係数を入力値として侵食量を計算したところ，総降水量が同じでも短時間･高強度の降雨ほど侵食量が増加することが確認された．また，降雨強度が大きい（降雨時間が短い）ほど受食係数の違いが顕著に現れ，短時間・高強度の降雨に対する解析では適切な受食係数の選定が重要であることが示唆された．

４．まとめ

本研究では，降雨エネルギーの差異がインターリル侵食に与える影響を明らかにし，WEPPモデルにその違いを反映させる手法を提案した．精度の高い侵食量の評価を行う際には，降雨エネルギーを考慮する必要があり，その観測方法の確立が今後の課題となる．

損傷検出精度向上に向けた気象データによるコンクリート表面温度の熱収支解析

○柴野一真（新潟大学大学院），萩原大生（国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所），鈴木哲也（新潟大学），大野健太郎（東京都立大学），木村匡臣（近畿大学）

１．はじめに

農業用ダムなどの水利施設では，迅速かつ非破壊的な損傷評価が求められている。赤外線サーモグラフィ法はコンクリート表層の非接触損傷検出に有用だが，取得した熱画像の表面温度の解釈には，測定環境や材料特性の影響を十分考慮する必要がある。そこで，本研究では赤外線サーモグラフィ法により得られたコンクリート表面温度を気象データを用いた熱収支解析により推定した。

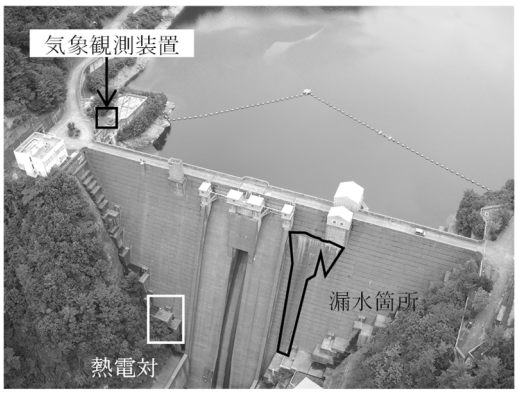

図-1　計測対象構造物

２．方法

調査対象とした構造物は 1966 年から 1974 年に建設された中空重力式コンクリートダムである（**図-1**）。コンクリート表面の熱収支は次式で示される[1]（**図-2**）。

$$R_n = H + G \tag{1}$$

ここで，R_nは正味放射量（W/m²），Hは顕熱輸送量（上向きを正，W/m²），Gは地中伝導熱（下向きを正，W/m²）である。気象データは，構造物の方位と堤体の傾斜を考慮した斜面日射量，平均風速，気温を用いた。

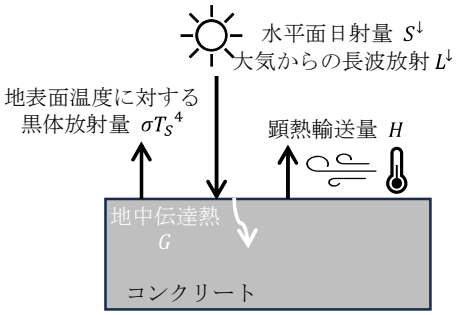

図-2　熱収支解析

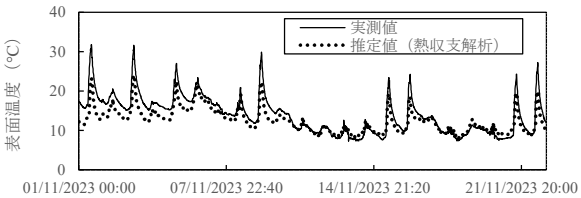

図-3　熱収支解析による表面温度の推定結果

３．結果と考察

図-3 に熱収支解析によるコンクリート表面温度の推定結果を示す。MAE および RMSE はそれぞれ 1.9℃および 2.4℃であった。2023/11/1~7 付近では推定値が実測値を下回った。これは，初期条件を 2023/10/31 23:50 の気温に設定したためであると考えられる。全期間において表面温度がピークとなっている時間における推定精度の過小適合が確認された。

４．まとめ

本報では，農業用ダム堤体を対象に熱収支解析を用いて表面温度の推定を行い，赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート損傷検出精度の改善への有用性が示唆された。

参考文献

1）近藤純正：6. 地表面の熱収支の基礎，水環境の気象学―地表面の水収支・熱収支―，朝倉書店，pp. 128-159，1994

日本の気象情報の 100m グリッドダウンスケール

○小南裕志、平田晶子（森林総合研究所）

１．はじめに

地球環境変動に伴う CO2 吸収能などの生態系反応の時空間解析において基本的な気象因子データは重要な情報である。日本におけるこのような気象情報は気象庁によるアメダス（AMeDAS：Automated Meteorological Data Acquisition System：自動気象データ収集システム）が約１３００箇所の降水量、気温、日照時間、風向・風速の 4 気象要素観測を行っており、これは約 20km 正方に一か所の測定点であり、他国と比較して充実した地上観測を行っている。このデータの空間内挿を行ってグリッドデータ化し空間解析を行う手法はこれまで多く行われてきた。本発表では昨今の演算およびストレージの進化を活用してアメダスデータの約 100m グリッドでのダウンスケールデータ化を行ったので、その手法とデータ運用に関する報告を行う。

２．方法

日本全体の空間情報を一つのファイルで取り扱うために北方４島と沖ノ鳥島を除く日本全体が網羅される北緯 23～46°東経 122～147°の矩形空間を空間解像度 3 秒でグリッドデータ化した。これは最南端では約 89m、最北端では約 78m グリッドに相当し、全グリッド数は８億２８００万になる。このデータを矩形のままファイル化すると、4 byte 浮動小数点形式の場合には１データ約 3.2Gbyte となり、1 要素につき日データを１年分合算すると 1 Tbyte を超える。そのため、矩形空間の中で陸域が存在する点のみを保存し、空間演算や GIS 表示などのときに展開するフィルターを用いることによってデータ圧縮を行った。使用したデータは１９７８年から２０２２年までの降水量、気温（最高、平均、最低）、日照時間の日データを用いた。空間内挿は再近傍３点のデータを用いて距離線形で空間内挿を行った。気温低減率は 0.6℃/100m、降水量の標高分布は $\log_{10}y = (0.6548 \cdot 10^{-4})x + \log_{10}(2133)$（大槻ら,2022）を用い、日照時間は単純補完を行った。演算およびデータ圧縮－展開フィルターは Julia 言語（Ver1.10、https://julialang.org/）を用いて開発した。

３．結果と考察

GIS で汎用的に利用可能なバイナリーファイル（Band Interleaved by Line (Bil)ファイル形式）で日本全体の情報を 4byte 浮動小数点形式で保存すると、1 枚で約 3.2Gbyte が必要であるが、陸域（5386 万 9354 点）のみの情報を用いることにより（bim 形式、独自ファイル形式）約 210Mbyte への圧縮（約 7%）が可能となった。離散的な計算の場合には、このファイルで直接演算が可能であるため、保存・演算ともに一般的な PC 環境で十分に可能である。総データ量は上記５成分で約 12Tbyte であった。このデータを用いて今後日射量、積雪などの推定を行う予定である。並行して植生タイプ、バイオマスなどの情報の充実を行っており、これらのデータが今後の国内陸域生態系の評価に活用されることを期待する。

４．引用

大槻真由,樋篤志,広瀬民志 (2022). 我が国における降水量標高依存性とその地域性. 水文・水資源学会誌, 35(6), 376-390. doi:10.3178/jjshwr.35.1715

関東・中部・北陸地方の特徴的な局地風の気象特性

真木太一（九州大学名誉教授）

１．はじめに

2022 年 6 月に『図説 日本の風 人々の暮らしに関わる５０の風』を朝倉書店から編者として出版した（真木、2022）。また書籍『日本の局地風百科』を丸善出版から 2025 年 3 月に出版予定である（真木、2025）。ここではその内、興味深い 20 程の風の特性を紹介する。

２．解析方法

各局地風について、主としてアメダスデータを使って解析すると共に、気象庁の天気図、統計資料等々を利用した。また、過去の文献（吉野、1987；真木、2000；真木ら、2011）の局地風について比較・考察した。その他の参考文献は真木(2022)、真木(2023)である。

３．結果および考察

(1) 寒候期に吹く北西寄りの乾燥した強風として、関東平野の空っ風に関して、扇型の風速分布図を示した（真木、2022）。那須おろし、男体おろし、筑波おろし、白根おろし、秩父おろし、下総赤風、下総ならい、丹沢おろし、大山おろし、箱根おろし、浅間おろし、妙義おろし、八ヶ岳おろし、御嶽おろし等々について報告する。

(2) 茨城県東北海岸域の寒候期の北東寄りの風に筑波山を冠した局地風・筑波ならいは、2014 年 2 月 15 日の南岸低気圧で、茨城県で大雨と甲府、河口湖で大雪を降らせた。

(3) 一般風・北西風時に富山県の立山連峰の影響で南寄りの立山おろしが冬春季に吹く。

関東・中部・北陸の局地風

那須おろし： WNW～NNW・16，W～N・29　季節：冬・春季, 気圧配置:冬型西高東低
男体(日光)おろし： WNW～N・22，WNW～N・33
上州おろし： WNW～NNW・15，W～NNW・24
赤城おろし： NNW～N・25，NW～N・32
榛名おろし： NW～NNW・21，NW～N・29
白根おろし： NNW・20，NNW～N・26
浅間おろし： W～N・14，W～N・24
妙義おろし： W～N・18，W～N・28
筑波ならい： NNE・16，N～NNE・26
筑波おろし： NW～NNW・23，W～NW・33
下総赤風： NW～N・19，NNW～N・27
秩父おろし： NW～N・16，W～N・26
練馬風： NNW～N・10，WNW～NNW・22
丹沢おろし：①NNW～N・21，WNW～N・28、②SSW・23，S～SSW・29
大山おろし：①NNW～N・11，NW～N・19、②SSW～SW・16，SSW・28
箱根おろし：①WNW～N・10，W～NW・25、②WSW・12，SW～WSW・28
八ヶ岳おろし： NNW～N・25，NW～NNW・32
御嶽おろし： WNW・12，WSW～WNW・24

立山おろし：SSE～S・12，ESE～SSW・36、冬・春季
白山おろし：
①SE～SW・20，SE～SSW・36
②SW・4，W～WSW・7、
①春・秋季、②冬・春季

表 1. 局地風の風向・風速

４．まとめ

那須・男体・上州・筑波・赤城・榛名・白根・秩父・筑波おろし、筑波ならい、下総赤風、下総ならい、丹沢・大山・箱根おろし、立山・白山おろし等々の気象的特徴を明らかにした。

引用文献　1）真木太一、2000：『大気環境学』、朝倉書店、pp.140．2)真木太一ら、2011：『風の事典』、丸善出版、pp.267．3)真木太一（編）、2022：『図説 日本の風 人々の暮らしに関わる５０の風』、朝倉書店、pp.175．4）真木太一、2023：『日本百高山の完全単独踏破』、文芸社、pp.187．5)真木太一、2025：『日本の局地風百科』、丸善出版、pp.（3 月出版予定）．6)吉野正敏、1987：『新版小気候』、地人書館、pp.308.

乾湿サイクル条件における土壌の二酸化炭素放出増大と微生物バイオマスの変動

○鈴木 優里，永野 博彦，鈴木 一輝（新潟大院），平舘 俊太郎（九大院農），小嵐 淳，安藤 麻里子，阿部 有希子（原子力機構），中山 理智（鳥取大）

１．はじめに

近年観測されている降雨の頻度減少および強度増大は，土壌の乾湿サイクルを顕在化させ，土壌有機物分解由来の二酸化炭素（CO_2）放出を増大させる可能性がある。国内複数土壌を用いた我々の既往研究では，乾湿サイクルが 1.3～3.7 倍の CO_2放出増大を引き起こす結果が示された。さらに，この CO_2放出増大は従来より指摘されていた微生物細胞の他，活性の高いアルミニウム・鉄と有機物との複合体の急激な再湿潤による破壊にも起因する可能性が示唆された。しかし，CO_2放出増大に大きく寄与した炭素源の特定には至っていない。本研究では，表層土壌と比較して，金属―有機物複合体が豊富に存在する一方，微生物量が小さいという特徴を持つ埋没腐植層を利用することで，仮説「埋没腐植層では，乾湿サイクルによる CO_2放出増加量は微生物バイオマス減少量よりも遥かに大きい」を検証し，金属―有機物複合体も乾湿サイクルによる CO_2 放出増大に大きく寄与した可能性に対する確証を得る。

２．方法

北海道で採取した表層（0～5cm）と埋没腐植層（1m 以上下層，それぞれ 1,640 年前，8,940 年前に埋没）の各 2 サンプルを用いて，乾湿サイクル条件区と水分変動のない対照区の 2 条件を設定した 28 日間の培養実験を実施した。培養期間中，定期的に CO_2 放出速度を計測した。また，培養期間中，複数時点で土壌を回収し，微生物バイオマスおよびピロリン酸抽出アルミニウム・鉄含量を計測した。培養終了後の土壌については，微生物群集組成の解析も行った。

３．結果と考察

培養 28 日間において，埋没サンプルを含むすべての土壌で乾湿サイクルによる CO_2放出増大が観測された（対照区に対して 139～279%の増大）。培養中のピロリン酸抽出アルミニウム・鉄含量は，水分条件に依らず，顕著な変動を示さなかった。一方，微生物バイオマスは，乾湿サイクル条件において，乾燥期間中に減少し，再湿潤後に増大する変動を示し，培養終了時には対照区よりも小さくなった。また，微生物群集組成解析により，乾湿サイクル後の土壌微生物群集は対象区と比べて明確に異なっており，特定の微生物群が鋭敏に反応した可能性が示された。しかし，CO_2 放出増大の炭素源の 1 つと考えられる乾燥時の微生物バイオマス減少量は，CO_2 放出増加量に対し，表層サンプルでは 121～263%であった一方，埋没サンプルでは 40%以下と小さかった。さらに，我々の既往研究結果を含めた再解析により，CO_2放出増加量とピロリン酸抽出鉄含量との間に有意な正の相関が示された。

４．まとめ

これらの結果は仮説を支持した。すなわち，乾湿サイクルによる CO_2 放出増大現象の炭素源として，死滅した微生物バイオマスだけでなく，特に，鉄と複合体を形成している有機炭素が大きく寄与した可能性が強く示された。

高山帯ハイマツ生態系における蒸発散の分離：2 手法間の比較

○鍋山智也，岩田拓記，小林元（信州大学）

１．はじめに

蒸散量の測定は生態系の水利用や気候変動下の水循環や炭素吸収の変化の理解において重要である．現在，世界各地で行われている渦相関観測では蒸発・蒸散の個別の測定が不可能であるため，渦相関データに適用可能な蒸発散分離手法が複数考案されてきた．しかし先行研究において手法によって結果に差があることが確認されており，また高山帯特有の環境下で蒸発散分離手法が適用可能かどうかは不明である．本研究では，高山帯ハイマツ生態系において渦相関法で測定された蒸発散を 2 つの手法で分離し，比較および手法の改良を行うことを目的とした．

２．方法

観測サイトは長野県の木曽山脈の将棋ノ頭付近のハイマツ生態系である．渦相関法によって蒸発散量と二酸化炭素（CO_2）交換量を測定し，同時に日射，気温，相対湿度，葉面の濡れ具合等の気象観測を行った．渦相関法の結果については欠測補完し，また CO_2 交換量から総一次生産量を推定した．本研究で用いた蒸発散分離手法は Zhou 法と TEA 法と呼ばれる手法であり，共に水利用効率を利用した手法である．Zhou 法は蒸発散量に対する総一次生産量と飽差の平方根の積で定義された水利用効率を利用する．この見かけの水利用効率は乾燥して蒸発の寄与がない時期に最大値を取り，本来の水利用効率を表す．この値と各時刻の見かけの水利用効率から蒸発散に対する蒸散の寄与を算出する．TEA 法は蒸散量に対する総一次生産量の比で定義された水利用効率の予測値と各時刻の総一次生産量の測定値から蒸散量を求める手法である． また，葉面が乾燥している時期の分離した蒸発量を土壌蒸発と仮定し，ランダムフォレスト回帰を適用して，蒸発量をさらに土壌蒸発と林冠蒸発へ分離した．

３．結果と考察

蒸発散量に対する蒸散量の寄与は両手法共に夏期に大きく，秋から冬にかけて減少し，冬季にはほとんど無くなる季節変化を示した．両手法共に降水に伴う蒸発の寄与の増加およびその後の無降雨期の蒸発の寄与の減少が見られ,定性的に整合的な変動を示していると考えられる．しかし,葉面の濡れ具合については Zhou 法による結果との負の相関が見られた一方で TEA 法の結果とははっきりとした関係が見られなかった．また，Zhou 法では相対湿度が高いときの蒸散の寄与の減少が見られたが TEA 法ではそのような関係が見られなかった．相対湿度が 100%に近い期間はサイトが雲に覆われていると考えられ，それによって蒸散の寄与が減少すると考えられる．また，先行研究では水利用効率と飽差に関係があることが示されているが，TEA で予測された水利用効率は飽差との関係が見られなかった．そのため，TEA 法は高山帯において適用不可能である可能性がある．これは TEA 法では乾燥した期間の選択に問題があったためであると考えられる．Zhou 法を基に算出した土壌蒸発と林冠蒸発への分離はランダムフォレスト回帰において飽差や地温，林床における日射量と関係していた．7 月から 9 月までの蒸発量全体の 9 割以上が土壌蒸発であることが分かった．

諏訪湖表層における溶存酸素濃度の日変化に基づいた代謝の推定

○奥西亮介（信州大学），岩田拓記（信州大学），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二酸化炭素（CO_2）の吸収源または放出源として重要な役割を果たしている．湖内では，生物の光合成によって CO_2 が吸収され，呼吸や有機物分解によって CO_2 が生成される．また，集水域からも湖内に CO_2 が供給される．これらのプロセスの正味の結果が湖の CO_2 バランスを決定する．

近年，渦相関法を用いた CO_2 交換量の測定が行われているが，これは水面での正味の交換量を測定しており，光合成や呼吸など各プロセスの寄与は不明である．そこで本研究では，諏訪湖表層において溶存酸素濃度の変化から表層の光合成，呼吸，正味生産を推定し，渦相関観測による CO_2 フラックス測定と組み合わせて，表層の好気的な代謝の CO_2 交換への寄与を明らかにすることを目的とした．

２．方法

諏訪湖は浅い富栄養湖（平均水深 4.3m）で，夏季に湖岸に水生植物や植物プランクトンが繁茂する．南東部湖岸と湖心で，気象条件や水温，溶存酸素濃度プロファイルを観測し，湖岸では渦相関法による CO_2 フラックス測定を実施した．解析期間は水生植物の繁茂が少なかった 2020 年と多かった 2022 年の 2 年間とした．

表層混合層の溶存酸素濃度の日変化を基に，表層の光合成、呼吸、正味生産を推定した．夜間と昼間の呼吸を等しいと仮定する「ベース法」と，呼吸の温度依存性を考慮する「モデル法」の 2 手法を用いた．また，表層混合層の光合成と呼吸のモデル式から溶存酸素濃度の日変化を計算し，その予測値を実測値と比較して再現性を評価することでデータ選択した．

３．結果と考察

本研究では，呼吸の温度依存性を考慮するモデル法が，より正確に代謝を推定できる可能性があると考え，モデル法とベース法を比較した．その結果，2020 年夏季の湖心においてモデル法による呼吸があり得ない負の値を示した．これは，夜間に溶存酸素濃度が上昇したことによるものだが，この原因は不明であり，今後の課題として解明が必要である．したがって，以下ではベース法の結果を基に議論を進める．

両年の季節変化について，表層の光合成と呼吸は湖岸と湖心ともに夏に最大となる季節変化を示した．夏季を比較すると，光合成や呼吸は湖岸の方が湖心よりも大きく，湖岸で水生植物が多く繁茂していたからだと考えられる．一方で，正味生産は湖岸では夏に最大となる傾向が見られたが，湖心では夏に負の値を示した．夏季の湖岸の光合成を両年で比較すると，あまり大きな差はなかった．これは，2022 年の方が植物量は多かったが，水面を浮葉植物が覆い，水中が暗かったからだと考えられる．2022 年夏季は，日射と湖岸の光合成の間に正の相関が見られた．

湖岸の表層の正味生産と CO_2 フラックスの関係を見ると，水生植物の多かった 2022 年は 2020 年に比べ，正味生産よりも渦相関測定による CO_2 吸収の方が大きかった．これは，渦相関測定では大気中に出ている葉の光合成による CO_2 吸収も含まれているからだと考えられる．

溶存酸素が浅い富栄養湖の湖底有機物分解に与える影響

○清水翔，岩田拓記，浦井暖史，朴虎東，宮原裕一（信州大学），尾坂兼一（滋賀県立大学），伊藤雅之（京都大学）

１．はじめに

メタンは主に嫌気環境で生成され，淡水湖はメタンの重要な放出源と考えられている．そのため湖底堆積物の嫌気培養実験によるメタン生成能についての先行研究が多く行われてきた．浅い富栄養湖ではメタン放出量が大きいという報告がある一方，湖水の鉛直混合が起こると湖底への酸素供給が起こり，短期的に湖底の酸素濃度が上昇する．そのため，湖底堆積物表層でのメタン生成に対する湖底の酸素濃度上昇の影響を明らかにする必要がある．

本研究では,乾燥有機物として藍藻を添加した湖底堆積物を異なる酸素濃度条件下で培養し,溶存酸素が堆積物中のメタン生成へ与える影響を明らかにすることを目的とした．

２．方法

浅い富栄養湖である諏訪湖の沿岸域の 3 地点で堆積物コアの採取をした．採取した表層堆積物の湿重量 5 g に対して，凍結乾燥した藍藻 25 mg を添加し，酸素濃度を調節した蒸留水 20 ml を加えた．中酸素区（飽和度約 50 %），低酸素区（飽和度約 6 %），無酸素区の 3 つ実験処理区を設定した．培養はバイアル内の閉鎖系で行われ，暗条件，25℃で 7 日間実施した．有酸素区の一部に O_2 スポットセンサーを貼り付け，溶存酸素濃度の測定を行った．24 時間ごとにヘッドスペースガスの二酸化炭素（CO_2），メタン濃度の分析を行った．有酸素区は 24 時間以内に酸素が消費されるため，ガス濃度分析後に液相の蒸留水を交換し，初期状態と同じ酸素濃度とした．有酸素区は，好気時間中と嫌気時間中のガス生成速度を比較するため，培養期間の始め，中間，最後の日に酸素が消費され尽くされた時間においてもガス濃度分析を実施した．CO_2 およびメタン生成速度は培養の各区間内の CO_2，メタン濃度の増加量をその区間の時間で割ることで算出した．

３．結果と考察

中酸素区の初期酸素濃度は 1.57-3.25 mg L^{-1} の範囲であり，およそ 1-5 時間後には酸素濃度はゼロに近づいた．一方で低酸素区では酸素濃度は検出限界以下であった．

メタン生成速度は酸素の存在による抑制が確認され，中酸素区，低酸素区，無酸素区に対してそれぞれ 0.08，0.23，0.38 μmol g^{-1} h^{-1} であった．一方で CO_2 生成速度は低酸素区と無酸素区で同程度（それぞれ 0.22 μmol g^{-1} h^{-1} と 0.21 μmol g^{-1} h^{-1}）であり，中酸素区では 0.11 μmol g^{-1} h^{-1} と小さかった．CO_2 /メタン生成比は中酸素区で 1 以上であり，低酸素区と無酸素区で 1 以下であった.有酸素区における好気時間中と嫌気時間中のメタン生成速度は同程度であった．一方，CO_2 生成速度は好気時間中に比べて嫌気時間中に大きく減少していた．また，この嫌気時間中の CO_2 生成速度は無酸素区の値よりも小さかった．

酸素によるメタン生成速度の抑制の原因として，酸素がメタン生成菌の失活，微生物群集の組成変化に影響した可能性がある.この抑制は酸素が無くなった後も続いていたと考えられる．また,酸素濃度の上昇による好気性微生物の活性化が好気時間中の CO_2 生成速度の増加に起因しているようである．酸素濃度の一時的な上昇は，その後の嫌気状態の CO_2 生成を大きく抑制しており，CO_2 を生成する発酵菌のような嫌気微生物の抑制が生じている可能性がある．

衛星可視画像を用いた諏訪湖における継続的メタンバブル放出量の推定

〇品川優喜，岩田拓記，宮原裕一，朴虎東，浦井暖史（信州大学），楊偉（千葉大学）

１．はじめに

メタンは非常に強力な温室効果ガスであり，地下深部から放出される地質学的メタンは大気中のメタン濃度に影響する重要な要素である．諏訪湖においても地下深部からの継続的なメタンバブル放出が複数点で確認されており，先行研究ではある地点からの放出量が 1.9Mg/y であると報告されている．しかし，その放出地点のすべてが特定されておらず，諏訪湖地下深部からのメタンバブル放出量の総量の定量化には至っていない．

諏訪湖は数年に一度全面が結氷し，その際に，継続的なメタンバブル放出地点は凍らずに穴となる．リモートセンシング技術により，穴の位置や大きさを詳細に把握できる．本研究の目的は，継続的バブル放出地点を高解像度衛星可視画像の解析及び現地観測により特定し，諏訪湖の地下深部からのメタン放出量を推定することである．

２．方法

調査地域は長野県に位置する諏訪湖である．全面結氷した 2018 年 1 月 27 日から 2 月 23 日に撮影された PlanetScope 衛星可視画像を解析した．衛星画像の各日の反射率から判別した閾値より小さい反射率の領域を水面とみなし穴の面積を算出した．画像から穴と考えられる領域の付近を船で航行し実際のメタン放出を調査し，それぞれの放出点をバブル放出の規模から小，中，大に分類した．この規模ごとに分類した代表点でバブル放出量を調査した．

３．結果と考察

衛星画像では全面結氷日の翌日の 1 月 28 日には凍結していない穴が見られた．東側には拡大速度の大きい穴がいくつか見られた．南西部にはより多くの穴が見られ，これらの穴の拡大速度は小さかった．反射率のヒストグラムにおいて，水面に相当する反射率のピーク（0.05 付近）と氷に相当する高反射率のピークが見られた．高反射率のピークは時間と共に低くなっており，これは氷の融解を反映していると推測される．現地調査の結果，衛星画像から穴であると推定された地点計 87 か所のうち 67 か所でメタンバブル放出が確認された（図１）．そのうち大規模放出は 2 か所，中規模放出は 22 か所，小規模放出は 43 か所であった．放出規模と穴の面積には関係が見られず，穴の面積はバブル放出の範囲とより関係していることが分かった．大規模放出地点の一つで予備観測を行った結果，バブル放出量は 3.5L/min であった．今後の調査により，諏訪湖全体からの放出量も推定する予定である．

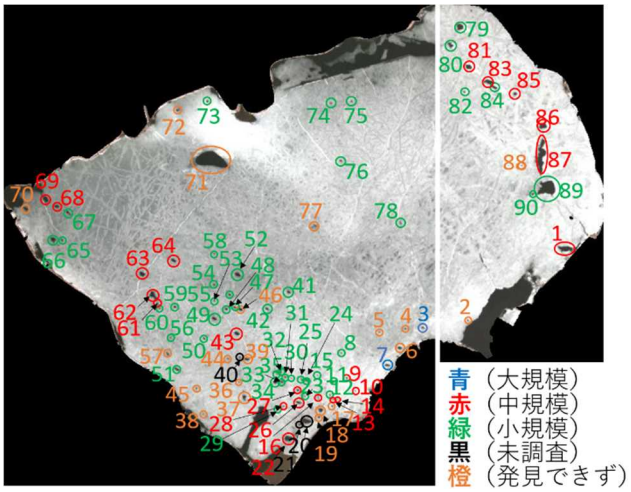

図１.バブル放出点調査結果