

日本農業気象学会 北陸支部・関東支部 2018 年度合同例会

一般講演要旨集 第 15 号

2018 年 11 月 9 日(金), 10 日(土)

信州大学松本キャンパス(〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)

一般講演発表会・特別講演・関東支部総会:理学部 C 棟2F 大会議室

北陸支部総会・関東支部評議員会:理学部 C 棟 1F12番講義室

長野県果樹試験場施設見学会(〒382-0072 長野県須坂市小河原

492)

主催: 日本農業気象学会北陸支部・関東支部

協賛: 日本農業気象学会リモートセンシング・GIS 研究部会

東京大学大学院農学生命科学研究科アグリコクーン 農学における情報利用研究 FG

信州大学松本キャンパス



目次

例会案内	1
一般講演スケジュール	1
一般講演要旨	3
① 湖モデルを用いた諏訪湖における過去 30 年間の熱環境の再現 小林大曙(信州大院)、岩田拓記(信州大・理)、Victor Stepanenko (Lomonosov Moscow State Univ.)、宮原裕一(信州大・山岳科学研)	3
② 時間スケールごとにみた諏訪湖における熱収支 新井沙友里、岩田拓記(信州大学理学部理学科物質循環学コース)	4
③ 諏訪湖におけるメタン動態のシミュレーション 中野 航、岩田拓記(信州大・理)、小林大曙(信州大院)、宮原裕一(信州 大・山岳科学研)、Victor Stepanenko(Moscow State Univ.)、伊藤雅之 (兵庫県立大・環境人間)	5
④ 諏訪湖における拡散およびバブルによるメタン放出の時空間変動 田岡 作、岩田拓記(信州大・理)、宮原裕一(信州大・山岳科学研)、 平田竜一、高橋善幸(国立環境研・地球環境研究センター)	6
⑤ 諏訪湖における溶存メタン濃度の変動要因 西村若菜、岩田拓記(信州大学理学部)、伊藤雅之(兵庫県立大学 環境人間学部)、宮原裕一(信州大学山岳科学研究所)	7
⑥ 乾燥土を基準とした DN 値補正による表面土壌水分量の推定 小林智生、松岡延浩(千葉大院・園芸)、木村玲二(鳥大・乾地研)	8
⑦ 日本海側砂丘畑地における小麦栽培期間中の土壌水分 細野達夫、島崎由美、渋川 洋、関 正裕(農研機構中央農研)	9
⑧ 山岳気象の中の雲・霧と上昇気流－農鳥・河内岳付近の 地形的・気象的雲と風－ 真木太一(九州大学名誉教授・日本学術会議連携会員・北海道大学 農学研究院)	10
⑨ 生態系モデル CLM を用いたアカマツ林におけるガス交換のシミュレーション 河原田麻結、岩田拓記(信州大学)、高梨 聡、深山貴文、岡野道明、 小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)	11
⑩ アカマツ林の林床からの CO ₂ 放出の季節変化とその制御要因 榊原進哉、岩田拓記(信州大学理学部)、高梨 聡、深山貴文、岡野道明、 小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)	12

- ⑪ アカマツ林からの蒸発散量の変化に対する駆動要因の影響の定量化 13
 鈴木拓海、岩田拓記(信州大学理学部)、溝口康子、高梨 聡、深山貴文、
 岡野道明、小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)
- ⑫ 富士山麓森林の窒素酸化物のフラックスと高度プロファイル 14
 奥野桂司、和田龍一(帝京科学大)、松見豊(名古屋大)、高梨 聡、深山
 貴文(森林総研)、望月智貴、谷 晃(静岡県立大)、米村正一郎(農研
 機構)、植山雅仁(大阪府立大)、高木健太郎(北海道大)、堅田元喜(茨城
 大)、中野隆志(富士山科学研)、反町篤行(福島県立医科大)
- ⑬ 植物におけるクロロフィルの 3 次元分布モニタリング 15
 板倉健太(東大院、JST ACT-I)、鎌倉以直、細井文樹(東大院)
- ⑭ CO₂ 施用速度-温室内植物個体群純光合成速度曲線
 リアルタイム推定法の改良 16
 川島崇志、富士原和宏、松田 怜(東大院農)、大嶋勇樹(東大農)
- ⑮ 消費電力および個葉純光合成速度に基づく人工光栽培用の
 蛍光体利用白色 LED の評価法 17
 陳 元浩、松田 怜、富士原和宏(東大院農)
- ⑯ 生育モデルとメッシュ農業気象データを用いたダイズの
 栽培管理支援システムの構築 18
 中野聡史(農研機構農環研)、松尾直樹(農研機構九沖農研)、熊谷悦史、
 高橋智紀(農研機構東北農研)、岡田周平(ビジョンテック)、
 中川博視(農研機構農環研)

日本農業気象学会北陸支部・関東支部 2018 年度合同例会

日程: 2018 年 11 月 9 日(金), 10 日(土)

会場: (11/9) 信州大学松本キャンパス(〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)

一般講演発表会・特別講演・関東支部総会: 理学部 C 棟 2F 大会議室

北陸支部総会・関東支部評議員会: 理学部 C 棟 1F12 番講義室

懇親会: 大学生協あづみホール

(11/10) 長野県果樹試験場(〒382-0072 長野県須坂市小河原 492)

プログラム

■11月9日(金)

12:10~12:50 関東支部 評議員会

13:00~14:36 一般講演発表会 第 1 セッション(発表 10 分、質疑 2 分)

1. 13:00~13:12 湖モデルを用いた諏訪湖における過去 30 年間の熱環境の再現

○小林大曙(信州大院)、岩田拓記(信州大)、Victor Stepanenko(Lomonosov Moscow State Univ.)、
宮原裕一(信州大・山岳科学研)

2. 13:12~13:24 時間スケールごとにみた諏訪湖における熱収支

○新井沙友里、岩田拓記(信州大学理学部理学科物質循環学コース)

3. 13:24~13:36 諏訪湖におけるメタン動態のシミュレーション

○中野 航、岩田拓記(信州大)、小林大曙(信州大院)、宮原裕一(信州大・山岳科学研)、
Victor Stepanenko(Moscow State Univ.)、伊藤雅之(兵庫県立大)

4. 13:36~13:48 諏訪湖における拡散およびバブルによるメタン放出の時空間変動

○田岡 作、岩田拓記(信州大・理)、宮原裕一(信州大・山岳科学研)、平田竜一、
高橋善幸(国立環境研・地球環境研究センター)

5. 13:48~14:00 諏訪湖における溶存メタン濃度の変動要因

○西村若菜、岩田拓記(信州大学理学部)、伊藤雅之(兵庫県立大学環境人間学部)、
宮原裕一(信州大学山岳科学研究所)

6. 14:00~14:12 乾燥土を基準とした DN 値補正による表面土壌水分量の推定

○小林智生、松岡延浩(千葉大院・園芸)、木村玲二(鳥大・乾地研)

7. 14:12~14:24 日本海側砂丘畑地における小麦栽培期間中の土壌水分

○細野達夫、島崎由美、渋川 洋、関 正裕(農研機構中央農研)

8. 14:24~14:36 山岳気象の中の雲・霧と上昇気流ー農鳥・河内岳付近の地形的・気象的雲と風ー

○真木太一(九州大学名誉教授・日本学術会議連携会員・北海道大学農学研究院)

14:40~14:50 休憩

14:50~16:26 一般講演発表会 第 2 セッション(発表 10 分、質疑 2 分)

9. 14:50~15:02 生態系モデル CLM を用いたアカマツ林におけるガス交換のシミュレーション

○河原田麻結、岩田拓記(信州大学)、高梨 聡、深山貴文、岡野道明、
小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)

10. 15:02～15:14 アカマツ林の林床からの CO₂ 放出の季節変化とその制御要因
○榊原進哉、岩田拓記(信州大学理学部)、高梨 聡、深山貴文、岡野道明、
小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)
11. 15:14～15:26 アカマツ林からの蒸発散量の変化に対する駆動要因の影響の定量化
○鈴木拓海、岩田拓記(信州大学理学部)、溝口康子、高梨 聡、深山貴文、
岡野道明、小南裕志、吉藤奈津子(森林総合研究所)
12. 15:26～15:38 富士山麓森林の窒素酸化物のフラックスと高度プロファイル
○奥野桂司、和田龍一(帝京科学大)、松見豊(名古屋大)、高梨 聡、深山貴文(森林総研)、
望月智貴、谷 晃(静岡県立大)、米村正一郎(農研機構)、植山雅仁(大阪府立大)、
高木健太郎(北海道大)、堅田元喜(茨城大)、中野隆志(富士山科学研)、
反町篤行(福島県立医科大)
13. 15:38～15:50 植物におけるクロロフィルの 3 次元分布モニタリング
○板倉健太(東大院、JST ACT-I)、鎌倉以直、細井文樹(東大院)
14. 15:50～16:02 CO₂ 施用速度-温室内植物個体群純光合成速度曲線リアルタイム推定法の改良
○川島崇志、富士原和宏、松田 怜(東大院農)、大嶋勇樹(東大農)
15. 16:02～16:14 消費電力および個葉純光合成速度に基づく人工光栽培用の
蛍光体利用白色 LED の評価法
○陳 元浩、松田 怜、富士原和宏(東大院農)
16. 16:14～16:26 生育モデルとメッシュ農業気象データを用いたダイズの
栽培管理支援システムの構築
○中野聡史(農研機構農環研)、松尾直樹(農研機構九沖農研)、熊谷悦史、
高橋智紀(農研機構東北農研)、岡田周平(ビジョンテック)、中川博視(農研機構農環研)
- 16:35～17:25 特別講演
温暖化がリンゴなど果樹生産に及ぼす影響と適応技術
杉浦俊彦(農研機構 果樹茶業研究部門)
- 17:30～18:00 北陸支部・関東支部 総会
- 18:30～20:30 懇親会(大学生協 あづみホール)

■11月 10 日(土)

- 8:00 JR 松本駅集合
- 9:30～11:00 施設見学会(長野県果樹試験場)
- 11:30 頃 JR 長野駅着
- 13:00 頃 JR 松本駅着

湖モデルを用いた諏訪湖における過去 30 年間の熱環境の再現

○小林大曙 (信州大院), 岩田拓記 (信州大・理), 宮原裕一 (信州大・山岳科学研), Victor Stepanenko (Lomonosov Moscow State University)

1. はじめに

気候変化による湖の熱環境の変化とそれによる湖生態系への影響及び湖上大気へのフィードバックの変化が指摘されている。本研究では、気候変化に対する諏訪湖の熱環境の応答を定量的に評価することを最終目的としている。そのために、湖モデルの一つである LAKE2.0 (Stepanenko et al., 2016) の検証を、過去 30 年間に渡って諏訪湖で観測されている水温プロファイルのデータを用いて行った。

2. モデルと観測データ

LAKE2.0 は、 $k-\epsilon$ 乱流モデルによって湖内部の運動量輸送及び熱拡散量を求め、水温プロファイルを計算する鉛直一次元の流体力学モデルである。また、大気-湖間の乱流フラックスは Monin-Obukhov 相似則に基づき計算する。本研究では、モデルのパラメータ調整を 2015 年 9 月から 2016 年 7 月の期間で、過去のシミュレーションを 1988 年 10 月から 2018 年 7 月の期間でそれぞれ行った。モデルのパラメータ調整では、諏訪湖南東部に位置する栈橋上での気象観測値をモデルに与え、フラックスの観測値及び湖心での水温プロファイルの観測値 (提供: 信州大学山岳科学研究所) とモデル値をそれぞれ比較し、モデルを検証した。また、湖水の吸光係数を栈橋での透過光量のプロファイル観測から求め、その平均値をモデルに与えた。さらに、湖内外への流入出水量 (提供: 長野県諏訪建設事務所) と河川水温を入力値として、河川による湖内外への熱の流入出を考慮した。過去のシミュレーションでは、諏訪特別地域気象観測所での気象観測値またはその補正值をモデルに与えた。ただし、現時点では過去のシミュレーションでは河川による湖内外への熱の流入出と吸光係数の変化を考慮できていない。

3. 結果と考察

まずパラメータ調整について記述する。水温プロファイルの再現性に着目すると、モデルは深層水温を過小評価していた。これは、モデルが湖面粗度長を過小評価し、運動量フラックス (τ) を過小評価したことが一因であった。そこで、 τ の観測値から逆算した湖面粗度長と Smith (1988) の式から求めた湖面粗度長との残差平方和が最小となる Charnock 定数を決定し、その値をモデルに与えた。その結果、 τ の再現性が向上した。同様に、Zilitinkevich et al. (2001) の顕熱・潜熱輸送に関する粗度長の式のパラメータを決定し、その値をモデルに与えた。さらに、湖底粗度長を 10^{-6}m とすると、深層水温の再現性が向上した。しかし、夏季の深層水温変動は再現できず、夏季の水温プロファイルの再現には課題が残る。表層水温の再現性に関しては、観測値に対するモデル値の系統誤差 (Bias) と平均平方二乗誤差 (RMSE) は、それぞれ 0.22°C , 1.18°C であり、モデルは、表層水温の平均日変化及び季節変化を良く再現した。また、顕熱・潜熱フラックスの Bias と RMSE はそれぞれ、 5.7 W/m^2 , 17.8 W/m^2 と 12.1 W/m^2 , 44.6 W/m^2 であり、モデルはそれぞれの平均日変化及び季節変化を良く再現した。

次に、過去のシミュレーションについて記述する。表層水温の年平均値のモデル値は観測値と似た変化の傾向を示したが、約 2°C 過大評価していた。これは、過去のシミュレーションでは、河川による湖内外への熱の流入出を考慮していないことが一因であると考えられる。発表当日では、河川から湖への熱の流入出及び吸光係数の経年変化を考慮した結果を示す予定である。

時間スケールごとにみた諏訪湖における熱収支

○新井沙友里 1, 岩田拓記 1

(1 信州大学理学部理学科物質循環学コース)

1. はじめに

湖表面における熱収支の物理的制御要因を理解することは、熱フラックスが湖周辺の気候へ与える影響を定量化する上で重要である。大気-湖表面間の顕熱・潜熱フラックスは、それぞれ大気-湖表面間の温度差・水蒸気圧差によって制御されており、強風時には乱流混合が促進されフラックスが大きくなることが知られている。他にも大気安定度が乱流混合の強さに影響する。しかし多くの先行研究では、解析期間が1年未満と短く、長期間のデータを用いて行われた研究は少ない。本研究では、諏訪湖で測定された4年間分のデータを用い、異なる時間スケールでの熱収支の制御要因を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

長野県に位置する諏訪湖は面積 13.3km²、平均水深約 4m の浅い湖である。南東側の湖岸にある栈橋に観測マストを設置し、放射、気温、風速、相対湿度などの気象や水温、渦相関法による顕熱・潜熱フラックスを測定した。湖表面温度は上向き長波放射から逆算、または放射温度計で測定し、湖表面水蒸気圧は湖表面温度での飽和水蒸気圧として算出した。また、オブコフの安定度パラメータを大気安定度とした。本研究で使用したデータは、2015年4月8日から2018年7月末日までのデータである。ただし、主風向が湖からの方角のデータのみを使用し、雨天時のデータは使用しなかった。

3. 結果・考察

2015年4月から2018年7月にかけて、風速 (U) は春先に最大となる傾向が見られた。9月は、大気の水蒸気圧 (e_a) が他の年よりも2016年の方が大きく、過去10年間の平均値と比べても2016年9月の月平均値の方が約 7.8hPa 大きかった。入射短波放射は、最大となる月が5月から7月の間で年ごとに変動した。一日の間では、正味放射 (R_n) は正午に最大を示す釣鐘型の変化を見せた。一方で潜熱フラックス (λE) は午後から夕方に最大で、これは U と大気-湖表面間の水蒸気圧差 (Δe) の積 ($U \Delta e$) が最大となる時間に一致していた。顕熱フラックス (H) の日変化は小さかったが、大気-湖表面間の温度差 (ΔT) の変化によく対応した。季節変化においては H は、明瞭な変化を示さなかったが、 λE は、正味放射の変化に従い、夏に大きく冬に小さい変化を示した。次に、異なる時間スケールでの H と λE の制御要因を調べるため、30分平均、日平均、月平均の様々な気象変数と H 、 λE の相関を調べた。異なる時間スケールごとで比較すると、 H は時間スケールに関わらず $U \Delta T$ 、 ΔT の順に相関が高かったが、日平均したデータでのみ U との相関があった。 λE は時間スケールに関わらず $U \Delta e$ 、 Δe の順に相関が高かった。また時間スケールが大きくなるにつれて、 λE に対する R_n の影響が大きくなった。湖表面が受け取る正味放射の大部分は、湖内に一旦貯留され、遅れて大気に放出されるため、正味放射は日変化における制御要因にはならないが、ある程度の期間を平均すると制御要因になると考えられる。30分平均の結果を先行研究(Zhang and Liu, 2011)と比較すると、 H は相関が低く、 λE は相関が高かった。また λE は、先行研究では $U \Delta e$ 、 Δe 、 U の順に制御されたが、本研究では $U \Delta e$ 、 U 、 Δe の順に制御されるという差異が見られた。

諏訪湖におけるメタン動態のシミュレーション

○中野航・岩田拓記(信州大・理), 小林大曙(信州大院), 宮原裕一(信州大・山岳科学研), Victor Stepanenko (Moscow State University), 伊藤雅之(兵庫県立大・環境人間)

1. はじめに

メタンは主要な温室効果ガスであり, 湖からのその放出は自然放出の 6~16%に当たる (例えば, Tranvik et al., 2009). このことから, 湖におけるメタン放出モデルを改良することが, 将来の気候変動予測をする上で重要となる. 湖モデルの一つに LAKE2.0 があり, このモデルは高緯度の湖において検証がされてきた (Stepanenko et al, 2011, 2016 ; Guseva et al, 2016). さらにモデルの適用性を高めるためには, 異なる地理環境の湖での検証が必要となる. 本研究では, 適用例のない中緯度の湖である, 長野県の諏訪湖においてモデルを適用し, 観測したメタンフラックス, 溶存メタン濃度の変動を再現できるか明らかにすることを目的とした.

2. モデルと観測データ

LAKE2.0 モデルは, 気象データ, 流入・流出河川による熱の輸送量データをインプットとして, 湖の水温, 溶存酸素濃度, 溶存メタン濃度, 湖表面からのメタンフラックスなどを計算する鉛直一次元の湖モデルである.

モデルを諏訪湖に適用するために, 諏訪湖沿岸の栈橋上で測定した気象データをモデルに入力した. 流出量と流入量データは釜口水門のデータを用いた. モデルの適用期間は 2016 年 9 月 12 日~2017 年 8 月 10 日である.

メタン動態のパラメータに関して, 温度 0°Cでの堆積物表層におけるメタン生成の大きさ (P_0) と, メタン酸化率の最大値 ($V_{max,w}$) を, メタン生成実験と酸化実験から求めた. デフォルトの P_0 と $V_{max,w}$ を用いたシミュレーション結果に対して, 実験から求めた P_0 と $V_{max,w}$ を用いたシミュレーション結果を比較した.

3. 結果と考察

デフォルトの状態モデルを適用させた結果, 湖沿岸の水温は表層, 深層ともに良く再現した. それに対し溶存酸素濃度は表層, 深層ともに冬に過大評価する結果となり, 深層に関しては夏に低下する変動もうまく再現できていなかった. 溶存メタン濃度は, 観測値の方が数倍~数十倍程度大きく, 大幅に過小評価した. ただし, 夏の溶存メタン濃度は深層ほど高く, 酸素濃度は深層ほど低くなる傾向は再現していた. 湖表面におけるメタンフラックスは, 全体的に数分の一程度に過小評価しており, ほとんどがバブルによる放出となっていた.

メタン生成・酸化実験によって求めた P_0 は 1.61×10^{-8} (mol/m³/s) となり, $V_{max,w}$ は 1.063×10^{-7} (mol/m³/s) となり, デフォルトの値よりも小さくなった. パラメータ変更を行いシミュレーションした結果, 溶存メタン濃度は観測値に比べるとまだ過小評価だったが, デフォルトよりも高くなった. これは P_0 よりも V_{max} の方が大きく減少したため, 水中でのメタン酸化が減ったためだと考えられる. それに対し, メタンフラックスはデフォルトよりやや低い結果となり, 観測値と比較しても過小評価のままであった. これはモデルの算出するメタンフラックスはほとんどがバブルによるものと見なされており, P_0 を下げたことでメタンの生成率が減り, 堆積物からのバブルによるメタン放出量が減ったためだと考えられる.

諏訪湖における拡散およびバブルによるメタン放出の時空間変動

田岡作, 岩田拓記 (信州大・理), 宮原裕一 (信州大・山岳科学研),
平田竜一, 高橋善幸 (国立環境研・地球環境研究センター)

1. はじめに

湖は重要な温室効果ガスであるメタンの主要な放出源である。湖底堆積物中で生成されたメタンが大気中へと放出される過程は、濃度勾配による拡散、堆積物中で蓄積したバブルの放出、植物の通気組織を通じた放出がある (Podgrajsek et al., 2016)。これまでに、風速が増大すると水面でのガスの交換効率が上がり、拡散フラックスが大きくなる (e.g. Cole and Caraco, 1998)、バブル放出は、堆積物中でバブルが蓄積しているという条件で、減圧や剪断応力といったトリガーが加わることによって起こる (Wik et al., 2013) ということが分かっている。特にバブル放出は、突発的・局所的に起こることが多く、時空間変動が大きい。

渦相関法は、広域にわたる連続観測ができる (Podgrajsek et al., 2016) ため、時空間変動が大きい湖からのメタン放出の測定に有効である。さらに近年、それを拡散とバブルを分離する方法が提案されている。そこで本研究では、渦相関法で測定した諏訪湖からのメタン放出を拡散とバブルに分離し、それらの制御要因を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

長野県中部に位置する諏訪湖の南東部にある栈橋上で、メタンフラックス、気象、湖内環境を測定した。メタンフラックスは、メタン計 (Li-7700) と超音波風速計 (CSAT3) の 10 Hz データより算出した。フラックスは、Iwata et al. (2018) の方法で拡散とバブルに分離した。気象データとしては、気温、気圧、風向風速などが、湖内環境のデータとしては、水温、水位などがある。本研究では、2016年6月4日～2018年8月30日のデータを用いた。

3. 結果と考察

拡散フラックスは、風速と正の相関を示した。日変化については、冬・夏とも午後に大きくなり、風速の変化に追従した。これらの結果は、風速が増大するとガスの交換効率が上がるためだと考えられる。また、風速の増大に対する拡散フラックスの上昇率は、夏のほうが冬よりも大きくなった。これは、夏のほうが冬よりもメタンの生成量が多いために表層の溶存メタン濃度が高く、拡散のポテンシャルが大きいためだと考えられる。

バブルフラックスは減圧時に大きくなり、全静圧の低下との対応は冬のほうが夏よりも良かった。夏はメタンの生成速度が大きいために堆積物の間隙水中の溶存メタン濃度の上昇が速く、減圧時以外にもバブル放出が起こるのかもしれない。日変化は、冬には昼前に大きくなり、風速の上がりをはじめに放出量が大きくなることが分かった。一方、夏には午後に大きくなり、風速が大きいときに放出量が大きくなることが分かった。冬はメタンの生成速度が小さいため、風の吹きはじめに多くバブルが放出されると、その後はほとんど出なくなるのかもしれない。一方、夏はメタンの生成速度が大きいため、風の吹きはじめに比較的多くバブルが放出された後も、持続的なバブル供給が起こるのかもしれない。しかし、バブルフラックスの時系列変化を見ると、全静圧や風速といったトリガーとの対応だけでは説明できないデータもあるため、今後はトリガーに加えて堆積物中でのバブルの蓄積を考慮する。

諏訪湖における溶存メタン濃度の変動要因

○西村若菜・岩田拓記（信州大学理学部）、伊藤雅之（兵庫県立大学環境人間学部）、宮原裕一（信州大学山岳科学研究所）

はじめに

湖沼は重要な温室効果ガスであるメタンの主要な放出源である（Gonzalez-Zalencia et al., 2014）. そのメタン放出量を予測するには湖内のメタン動態を知る必要がある. 現在諏訪湖では、湖水に溶存するメタン濃度のガスクロマトグラフ分析をおよそ月に一回の頻度で行っている. しかし、浅い諏訪湖では風による混合でメタン濃度の変動が起きやすいため、月に一回のサンプリングでは溶存メタン濃度の時間代表性が低いことが考えられる. そこで本研究では、上述のガスクロマトグラフ分析に加え、連続測定が可能な装置による間隙水中の溶存メタン濃度分析を用いて、諏訪湖における溶存メタン濃度の日変化や季節変化の要因を明らかにすることを目的とした.

方法

諏訪湖の南東部に位置する栈橋（水深約 1.8-2.0m）において、湖水と堆積物コアを採取し、湖水及び間隙水中の溶存メタン濃度の測定を行った. また、連続観測が可能な分析器であるチューナブルダイオードレーザー式温室効果ガス分析器と溶存ガス抽出装置を用いて栈橋にて表層の溶存メタン濃度の集中観測を行った.

湖水中の溶存メタン濃度はガスクロマトグラフを用いてヘッドスペース法により分析を行った. 間隙水中の溶存メタン濃度の測定は、2018年2月からおよそ月に一回の頻度で堆積物コアを採取し窒素パージした水で希釈した後、同様にガスクロマトグラフを用いてメタン濃度分析を行った. 自動観測は、溶存ガス抽出装置内にある疎水性微多孔膜を通して水サンプルからガス相（窒素）に拡散したメタンをガス分析器にて観測した. ガス相の濃度と求めたい溶存メタン濃度は比例関係にあるため、実験的に比例定数 α を求め溶存メタン濃度を算出した.

結果・考察

溶存メタン濃度は2016, 2017年では6月頃にピークを迎えその後減少していたのに対し、2018年では6月と8月にピークを迎えていた. また、間隙水中の溶存メタン濃度は2018年6月に最も高い値となり以後減少した. ここから、月に一回の水サンプリングでは季節変化を正確に表しているとは限らないということが推察される.

連続測定の予備実験では水サンプルの不純物を取り除くフィルターにつまりが生じ、流量が減少し濃度測定に影響が出ることがわかった. そこで、水サンプルのガス抽出装置内の流量の時間変動をみて、フィルターの交換頻度と観測スケジュールを決定した. さらに、流量とガス相の濃度の関係から、流量減少により影響を受けたガス相の濃度を補正した. 2018年7月25日から3日間で、補正したガス相の表層のメタン濃度が上昇していたとき、同時刻に湖底付近での溶存酸素濃度も上昇していたことがわかった. これは、風や表層が冷やされることによる対流などで混合が起き、底層に蓄積してきた高濃度のメタンが表層に、表層の溶存酸素濃度の高い水が底層へと移動したためではないかと推測される. α は理論的には温度依存があるため、水温に対する変化を見たが、実験サンプルが少ないこともあり明確な温度依存は確認できなかった.

乾燥土を基準とした DN 値補正による表面土壌水分量の推定

○小林智生（千葉大院・園芸）、松岡延浩（千葉大院・園芸）、
木村玲二（鳥大・乾地研）

1. はじめに

土壌表面（表層数 mm）は大気と土壌の境界面であり、物質・エネルギーの移動が活発に行われる土層である。この土層の水分量を測定することは、ダスト発生や結露の解析につながる。しかし、従来の埋設型センサでは表層への設置ができず、表面土壌水分量を連続的に把握することが困難である。一方、画像から抽出した土壌表面の反射特性から、水分量を推定する方法もある。本研究では、安価で実用的な計測システムの構築を目指して、乾燥土を基準として土壌の反射特性を抽出し、表面土壌水分量との関係性を調べた。なお、本研究は鳥取大学乾燥地研究センター共同研究（課題番号 29C2015）の助成を受けたものである。

2. 方法

計測機器として、可視・近赤外カメラモジュール（Raspberry Pi Camera V2, Raspberry Pi NoIR Camera V2）、上空の照度を測る光センサ（BH1750）、制御コンピュータ（Raspberry Pi 3B）を組み合わせ、2万円程度の安価な撮影システムを構築した。千葉大学圃場の表層土を採取後、約 24 時間炉乾し、これ（以後、乾燥土）を真上・高さ 50cm から撮影した。その際、照度によらず、乾燥土の DN 値が一定（ 200 ± 1 ）になるようにシャッタースピードを調整し、そのシャッタースピードと照度との関係性を調べた（図 1）。図 1 より、異なる天気でも乾燥土を同じ明るさに撮影するためのシャッタースピード調整式を作成した。その後圃場で、調整式に基づいて土壌を撮影し、同時に採土法で表層 5 mm の含水比を測定した。乾燥土の DN 値を基準として、異なる含水比での DN 値の変化を調べた。

3. 結果と考察

含水比と DN 値の関係として、可視・近赤外の全チャンネルに共通の傾向がみられた。図 2 に近赤外チャンネルの例を示す。含水比が増加すると DN 値が減少する傾向がみられ、DN 値から含水比を推定可能であることがわかった。しかし、含水比 20%付近で、DN 値が 200 に近づき、乾燥土との差異があまりみられなくなった。DN 値が 200 程度の土壌の中には、表面は乾燥しているが、下層が乾ききっていない土壌もみられたことから、カメラが表層 5 mm よりも浅い層を捉えていることが示唆された。画像が代表している土壌の深さを決定し、同じ深さの含水比と関連づけることで、より乾燥時の含水比にも対応した推定法が見出せると考えられた。

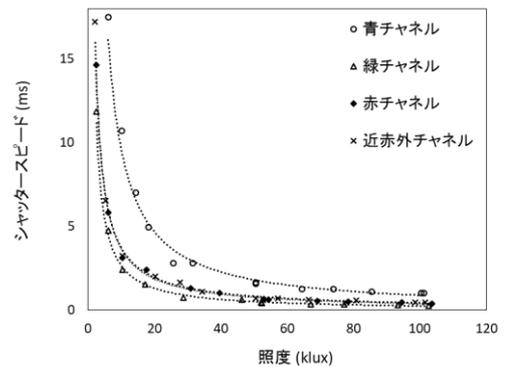


図 1 乾燥土の DN 値が 200 ± 1 になるように撮影したときの、上空の照度とシャッタースピードの関係

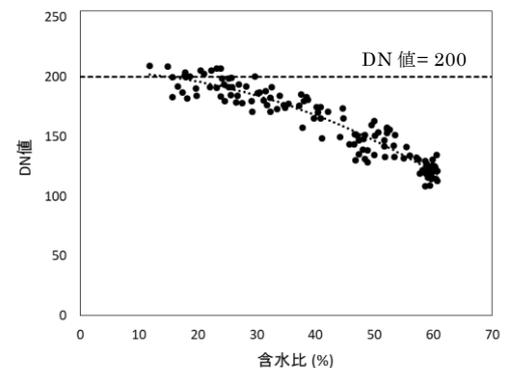


図 2 含水比と近赤外チャンネルの DN 値の関係（乾燥土の DN 値を約 200 としたとき）

日本海側砂丘畑地における小麦栽培期間中の土壌水分

○細野達夫・島崎由美・渋川洋・関正裕（農研機構中央農研）

1. はじめに 一般的に、保水性に乏しい砂丘畑地における作物栽培では灌漑が必須であるが、近年作付けが増えている新潟県内の砂丘畑地での秋まき小麦では灌漑は行われていない。日本海側の秋冬期は降水量が多く積雪もあるため土壌乾燥が生じにくく、作物の蒸散要求量も小さいことが無灌漑栽培を可能にしているものと推察される。しかし、4月以降、梅雨入り前までは年によっては降水量が少なく、小麦の出穂期から登熟期にかけてはLAIも大きいため、土壌水分不足による蒸散抑制や減収も懸念される。著者らは、新潟市の砂丘畑地において、2作期にわたって小麦栽培期間中の土壌水分を調査したので、その結果について報告する。

2. 研究方法 新潟市北区の砂丘地小麦圃場において主根域の中心および下端付近と思われる深さの-8cmと-20cm（各2点）に水ポテンシャル（SWP）センサ（Meter社製MPS-6）を埋設した。また、そのうち深さ-8cmの1箇所には体積含水率（VWC）センサ（Meter社製5TM）を併設した。これらセンサ（計5本）は、データロガー（Meter社製Em50）に接続し、小麦生育期間（10月上旬播種、翌年6月中旬収穫）にわたって1時間おきに計測・記録した。

3. 結果 2作期の小麦栽培期間中の降水量、土壌水分および気温・地温の推移を図1に示す。深さ-8cmと-20cmでSWPに大きな差異はなかった。両作期で秋冬季の降水量、積雪期間は異なったが、10月～3月下旬までは、SWPはほぼ-10kPa（約pF2）以上で推移した。4月以降、無降水が継続するとSWPは-100kPa（約pF3）以下に低下した。特に、2017年5月および2018年6月には、一時的に-20cmまでの水分がほとんど枯渇する状況が生じていたと推察される。

4. おわりに 今後は、-20cmより下層の水分と根の伸張状況についても留意しつつ、土壌水分低下時の小麦の水ストレス状況を把握するとともに、融雪後の土壌水分低下が小麦の生育・収量へ及ぼす影響について評価したい。

本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行った

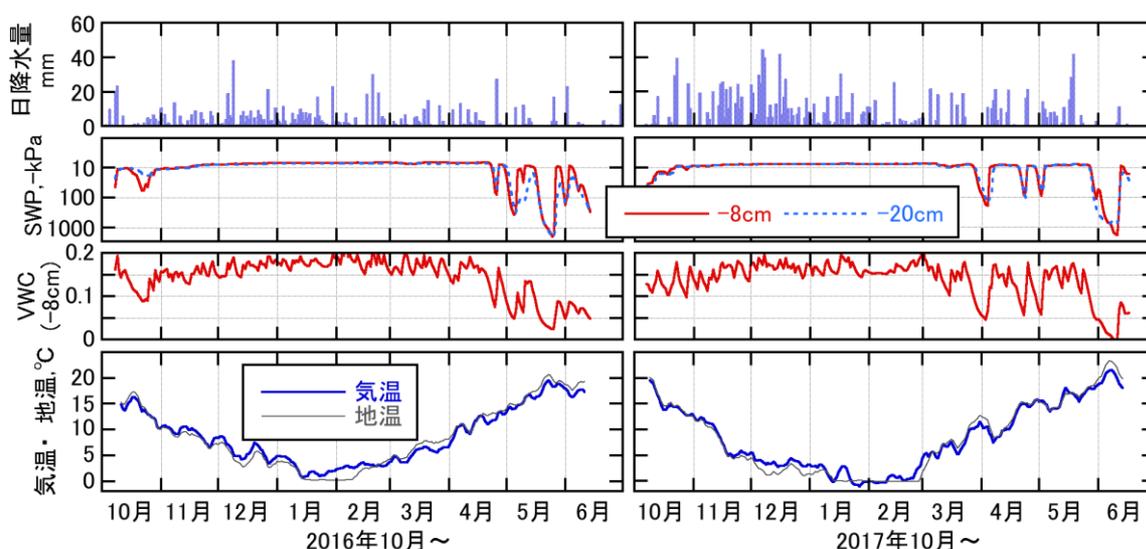


図1 小麦栽培期間中の降水量、土壌の水ポテンシャル（SWP）と体積含水率（VWC）、気温および地温（-1cm）の推移。SWPとVWCは日平均値、気温と地温は7日間移動平均値を表示。

1. はじめに

著者は2016年に日本百名山と真木の百名山(真木・真木、2014)を踏破した。2018年に日本百高山を踏破し、南アルプスの農鳥岳－広河内岳－白河内岳を踏破したが、気象的・地形的に興味深い現象を把握した。湿潤空気と乾燥空気の衝突により境界の明確な垂直に高く舞い上がる雲、沸き立つ雲を確認した。

2. 観測方法

南アルプス・赤石山脈の甲斐駒ヶ岳－塩見岳－聖岳の西尾根と北岳－農鳥岳－白河内岳の東尾根による気象の差異、特に東尾根の、東斜面と西斜面での風と雲・霧の発生状況の差異を観測・解析した。

3. 観測結果

地形的・気象的差異の特徴：山梨県・長野県・静岡県の地形的・気象的差異（夏季7～8月）を調査。山梨県南部は静岡県側から吹き込む南東の夏季の季節風により南アルプス南東部では南東風が多く、富士川沿いの侵入風に対して、南アルプス・赤石山脈の東尾根と西尾根は気象（雲・霧・風）が異なる。

南アルプス・赤石山脈西尾根：甲斐駒ヶ岳(2967m)－千丈岳(3033m)－三峰岳(2999m)－安倍荒倉岳(2693m)－塩見岳(3047m)－荒川岳(3141m)－赤石岳(3120m)－聖岳(3013m)－上河内岳(2803m)－光岳(2591m)。

南アルプス・赤石山脈東尾根：北岳(3193m)－間ノ岳(3190m)－農鳥岳(西農鳥岳 3051m)－広河内岳(2895m)－大籠岳(2767m)－白河内岳(2813m)－黒河内岳(笹山 2733m)－笹ヶ岳(2629m)－青薙山(2406m)。

東尾根の東斜面は太平洋（駿河湾）からの直接の湿った気流が入るが、深く切れ込んだ静岡県側の大井川(源流)の西斜面は南部の複雑な高地形に遮られて直接の気流が入り難いため、高標高で乾燥している場合が多く、かつ伊那盆地から乾燥した西寄りの吹き上げ風が東尾根でぶつかることが夏季には多い。

山梨県側（早川・富士川方面）では湿った気流のため上昇気流が発生し、沸き立つ雲が発生するが静岡県側では山岳地の岩場で乾燥した気流が西風に乗って農鳥岳－白河内岳の東尾根に吹き付ける。このため乾燥空気と湿潤空気の衝突で、東側の尾根直上に明確に雲の境界（雲の有無）が見られ、非常に高くまで吹き上げられる現象として、はっきりした境界がある積雲が発生し、上空に登る雲として数千 m 高まで達するとともに、高い積乱雲が発生することも多く、山梨県側では雷雨が多く発生する。この現象を農鳥小屋の管理人は知っており、著者も4度の訪問で現象を把握し、上昇風と雲の関係を確認した。

2018年7月23日：間ノ岳－三峰岳－熊ノ平小屋、24日：（安倍荒倉岳－新蛇拔山－北荒川岳往復）－三国平－（水平道・大井川源流）－農鳥小屋、25日：農鳥小屋－農鳥岳－（大門沢下降点－広河内岳－大籠岳－白河内岳往復）－大門沢小屋のコース。7月25日に農鳥岳－広河内岳－大籠岳－白河内岳では、東斜面からの湿った霧・雲の上昇気流に対して、西斜面からの乾燥上昇気流では霧・雲は発生せず、尾根上空には垂直積雲（垂直に沸き立つ雲）が発生し、両斜面で、はっきり区別される現象が観察された。

2018年8月10日：西山ダム(820m)－1603m点－2256m点－笹山(黒河内岳、2733m)往復。笹山頂上付近は尾根の東面の影響を受けて霧・雲が発生していた。夕方、上昇風による雲の発生を下層の西山ダムから観察して乱層雲の発生と、遙か上空には積雲(積乱雲)を観察した。太平洋側駿河湾からの水蒸気の多い気流に早川および西山ダムからの蒸発した多湿の上昇気流によって雲が発生する特徴が確認された。

4. おわりに

7月25日午後の比較：富士川沿いの山梨県切石・南部は南寄（南東～南南西）、伊那盆地の飯田・飯島は西寄（南東～西北西）、東尾根東斜面では東寄りの湿潤上昇気流（上昇霧・雲の発生有）と東尾根西斜面では西寄りの乾燥上昇気流（乾燥風で雲の発生無）を観測。8月10日午後の比較：切石・南部は南寄（南南東～南南西）、飯田・飯島では南南東～南南西、東尾根東斜面では東寄りの湿潤上昇気流（霧・雲の発生有）、東尾根西斜面では未確認（東面と同様か）。登山は若い頃に行い、仕事が忙しくなって激減していたが、定年退職後の病氣回復後に集中的に登っており、数年間で200山以上に達している。

引用文献： 真木太一・真木みどり、2014：『自然の風・風の文化』、技報堂出版、pp. 164.

アカマツ林における陸面モデルを用いた CO₂および水蒸気フラックスのシミュレーション

○河原田麻結, 岩田拓記 (信州大学)

高梨聡, 深山貴文, 岡野道明, 小南裕志, 吉藤奈津子 (森林総合研究所)

はじめに

現在, 過去から未来までの気候をシミュレーションすることを目指して地球システムモデル (CESM) が開発されている. その CESM において地表と大気との CO₂と水蒸気の交換を計算しているのは, CLM と呼ばれる陸面モデルである. 陸面の中でも森林は主要な陸域生態系であり, 森林と大気との水蒸気・CO₂交換を予測することは, 気候変動を予測するうえで重要である. 先行研究では, アメリカ合衆国ワシントン州の針葉樹林で CLM4.5 が実行され (Duarte et al. 2017), デフォルトのパラメータ値では光合成, 蒸発散量および土壌水文過程学をうまく表現できず, パラメータ値には不確実性があることが分かった. 本研究では, CLM を日本のアカマツ林に適用し, そこで観測した CO₂および水蒸気フラックスをモデルが再現できるかを検討することを目的とした. 本要旨の結果と考察では, 樹冠上での CO₂・水蒸気フラックスの観測値の特徴を述べる.

観測サイトとモデル

観測サイトは山梨県富士吉田市にある富士吉田森林気象試験地で, 温帯常緑針葉樹のアカマツが優先する森林である. 樹冠下部には常緑広葉樹のソヨゴ, 落葉広葉樹のコナラも混交している. 樹冠上と林床において渦相関法を用いた水蒸気, CO₂交換の測定と気象観測が行われた.

CLM は, 気象データをインプットとして, 顕熱・潜熱・CO₂フラックスを計算する. いずれのフラックスも植生および地面でのフラックスの合計が樹冠上でのフラックスという前提で計算されている. CLM では, フラックスを抵抗モデルで表す. 顕熱フラックスは温度差, 潜熱フラックスは比湿差, CO₂フラックスは CO₂濃度差が駆動要因で, いずれも抵抗が輸送効率である. また, 潜熱および CO₂フラックスにおいては, 気孔抵抗も考慮される.

結果と考察

顕熱フラックスは冬から 5 月頃にかけて増加 (最大値 129W/m²) し, そこから減少していき 10 月頃に最小値になった. 潜熱フラックスは冬から 7 月頃にかけて増加 (最大値 125W/m²) し秋以降に減少する傾向となった. これは樹冠部の植物量が 5 月頃から落葉樹の展葉により大きくなるからだと考えられる. すなわち, 5 月頃から蒸散が盛んに起こり樹冠上の温度の上昇が抑制され, 結果として顕熱フラックスの値が小さくなるといえる. CO₂フラックスは葉面積と樹木の光合成速度の変化を反映し, 6 月に最大の吸収速度 ($-7 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$) となる傾向を示した.

昼間の入射短波放射と CO₂フラックスとの関係において, 冬は常緑樹にとって光合成をしやすい条件になったときには CO₂吸収が起こる考えられる結果となった. 夏は, 飽差が大きいほど CO₂吸収量は小さくなった. これは, 飽差が大きいと気孔の開き具合は小さくなり, 結果として光合成量も減るからだと考えられる.

発表当日は CLM を用いたシミュレーションにより上述した変化が再現されるかどうかを示す.

アカマツ林の林床からの CO₂ 放出の季節変化とその制御要因

○榊原進哉、岩田拓記（信州大学理学部）、高梨聡、深山貴文、岡野道明、小南裕志、吉藤奈津子（森林総合研究所）

はじめに

森林は水蒸気や温室効果ガスである二酸化炭素の主要な吸収源、または放出源となっていて、そのため森林生態系は大気や気候に対し大きな影響を与えている。故に、地球温暖化などの問題の予測や解決のためには、森林と大気間における炭素収支を明らかにする必要がある。そこで本研究では、山梨県富士吉田市にあるアカマツが優先する温帯常緑針葉樹林を研究サイトとし、渦相関法を用いた観測を行った。その森林の林床における二酸化炭素の放出を測定し、季節変化の調査、そしてその変動要因を特定することを目的とした。

方法

観測対象地域は、山梨県富士吉田市にある富士山科学研究所内の森林で、温帯常緑針葉樹のアカマツが優先している。観測サイトの林床は葉リターや有機物層に覆われており、土壌は粗粒火山灰土である。林床において渦相関法を用いた二酸化炭素フラックス、顕熱フラックス、潜熱フラックスの測定と計算が行われた。また気象観測として短波放射、長波放射、気温、地温の測定などが行われた。本研究のデータ解析対象期間は、2016年1月1日から2017年12月31日とした。

結果と考察

二酸化炭素フラックスは12月から3月頃の冬季に $0 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ から $2 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ 程度の低い値をとり、8月頃に最大となる8から $9 \mu \text{mol/m}^2/\text{s}$ となるように増加した。また、二酸化炭素フラックスは温度と相関関係を示した。これは、呼吸量が温度に依存するためだと考えられる。平均日変化に注目すると、2016、2017年ともに、1月や4月といった冬や春に関しては、夜間に低く、温度が上昇する日中に高くなったが、7月や10月といった夏や秋においては、二酸化炭素フラックスは日中に減少し、夜間に増加する傾向が見られた。これは、日中に下層植生による光合成が盛んに行われることで二酸化炭素が吸収され、二酸化炭素フラックスが減少し低い値をとったと考えられる。

今後の予定

チャンバー法を用いることで、より狭い範囲内で土壌呼吸や下層植生の光合成といった影響を詳しく調査したいと考えている。二酸化炭素フラックスの測定を明条件、暗条件でそれぞれ行うことで、林床における呼吸による二酸化炭素フラックスと、光合成による二酸化炭素フラックスの変化を確認し、また渦相関法での結果と比較することで、二酸化炭素フラックスが夏や秋の日中に減少するという変動が本当に光合成の影響であるのかを調査しようと考えている。

アカマツ林からの蒸発散量を変化させる駆動要因

○鈴木拓海, 岩田拓記 (信州大学理学部), 高梨 聡, 深山貴文, 溝口康子, 岡野通明, 小南祐志, 吉藤奈津子 (森林総合研究所)

1. はじめに

森林からの蒸発散は陸上から大気への主要な水の輸送経路の一つであり, 地域の気象に影響を与えることが知られている (Kelliher et al., 1993). 一般的に蒸発散量は日射や飽差など様々な要因に影響を受けることが知られているが, 蒸発散量の変化にそれらの要因が与える影響は複雑である. そのため, 本研究では *perturbation* 解析を用いて, 森林からの蒸発散量変動に対する制御要因の影響を分離することを目的とした.

2. 観測サイトと方法

観測サイトは山梨県富士吉田市にある, 森林総合研究所が管理する富士吉田森林気象試験地で, アカマツが優占する温帯常緑針葉樹林である. 樹冠下部には常緑樹であるソヨゴ, 落葉広葉樹であるコナラも見られる. 地上約 23m の樹冠上と林床で気象観測と渦相関法を用いた顕熱・潜熱フラックスの測定が行われた. また観測された潜熱フラックスのデータはエラー値が多数確認されたため多重代入法を用いてデータの補填を行い連続データにした.

3. 結果・考察

潜熱フラックスの日内変動に影響する要因は季節によって異なった. 夏の潜熱フラックスは飽差や日射に強く影響を受けていたが, 冬の潜熱フラックスは飽差や日射よりも群落コンダクタンスに影響を受けていた. これは, 夏は植物にとって成長しやすい環境であるため気孔が開いていることが多く, 飽差や日射などの物理的要因が潜熱フラックスに対して影響を与えやすくなるためだと考えられ, 反対に冬は植物が気孔を閉じていることが多いため潜熱フラックスに対しての飽差や日射の影響は小さくなり, 生物学的要因である群落コンダクタンスの影響が大きくなると考えられた. 群落コンダクタンスは飽差に影響を受けており, 飽差が高くなるほど群落コンダクタンスが低くなるような傾向が見られた.

潜熱フラックスの季節変化は主に日射量と飽差によって制御されていた. 樹冠上における潜熱フラックスの月平均値は 8 月に最大となり約 90W/m^2 であったが, 林床では 5 月に最大の約 10W/m^2 となり, その後, 減少した. これは樹冠部の広葉樹が 6 月に展葉を始めることで林床部に届く日射量が減少し潜熱フラックスも減少したためだと考えられる. また 2005 年から 2017 年にわたって測定された年間の潜熱フラックスに対しても飽差や日射などの物理的制御要因は群落コンダクタンスなどの生物的制御要因よりもよく影響を与えていた. これは夏のほうが冬よりも潜熱フラックスの値が高いために年間の潜熱フラックスにも夏の特徴が表れたのだと考えられる.

これらの結果を踏まえ本研究では, *perturbation* 解析を用いて蒸発散量の変化量に対する駆動要因の影響を定量化することを考えている. 発表当日は, この結果も紹介する.

レーザー誘起蛍光法を用いた森林生態系における NO₂ フラックスの計測

○奥野佳司, 和田龍一 (帝京科学大), 松見豊 (名古屋大), 高梨聡, 深山貴文 (森林総研),
望月智貴, 谷 晃 (静岡県立大), 米村正一郎 (農研機構), 植山雅仁 (大阪府立大),
高木健太郎 (北海道大), 堅田元喜 (茨城大), 中野隆志 (富士山科学研), 反町篤行 (福島県立医科大)

1. はじめに

植物は気孔から窒素酸化物を吸収し、また窒素酸化物は葉などに沈着することから、森林生態系は窒素酸化物の吸収源と考えられる。一方窒素酸化物は土壌から放出されることが知られており、森林生態系は窒素酸化物の放出源の可能性もある。森林生態系における窒素酸化物の放出・吸収量の時間変動とその要因を知ることは、炭素循環および気候変動に窒素酸化物が与える直接的・間接的な影響を理解するうえで重要である (Ollinger *et al.*, 2002)。しかしながら窒素酸化物の一種である二酸化窒素 (NO₂) の森林内および樹冠上の濃度は二酸化炭素 (CO₂) の濃度に対して約 10 万～1 万分の 1 程度と小さく、これまで高感度で速い応答速度の NO₂ 計測装置がなかったことから、渦相関法による NO₂ フラックス測定は不可能であった。そこで、本研究では独自に開発・製作した高感度で高速応答の NO₂ のレーザー誘起蛍光分光検出装置を用いることにより渦相関法による森林内の NO₂ のフラックス測定に初めて成功した。森林生態系において得られた NO₂ フラックスの時間変動とその要因に関して考察した。

2. 方法

2018 年 6 月 26 日から 7 月 8 日にかけて富士吉田アカマツ林微気象観測タワー (FJY) にて、NO₂ 濃度と CO₂ 濃度を計測した。NO₂ 濃度の計測には、レーザー誘起蛍光分析装置 (LIF: 自作, 名古屋大学) を用いた。CO₂ 濃度の計測には、非分散型赤外線吸収分析装置 (Li-7000, Licor) を用いた。大気サンプル口は、アカマツ林の樹冠上である 26.5 m の地点に設置し、樹冠上の大気を PFA チューブで地上まで吸引し、流量を制御して分岐して各分析装置に供給して計測を実施した。同時に超音波風向風速計を用いて風向と風速を計測し、渦相関法を用いて CO₂ および NO₂ のフラックスを求めた。

3. 結果・考察

観測期間中、降雨がない晴天であった昼間 (6 時～18 時) の NO₂ フラックスは、 $0.51 \pm 0.43 \text{ nmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (上向きを正、±の後の数値は標準偏差) と森林からの放出を示した。一方夜間 (18 時～6 時) の NO₂ フラックスは $0.02 \pm 0.18 \text{ nmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ と、放出・吸収量はほぼゼロであった。一般に NO₂ は森林樹木に沈着・吸収されると考えられているが、晴天時は土壌から放出された NO が森林大気中で酸化されて NO₂ となり森林外に放出された可能性も考えられた。また観測地は市街地に近いことから比較的森林内部の窒素酸化物濃度が高く、また晴天時に放出を示していたことから NO₂ の太陽光による光分解が樹冠上にて樹冠内部に比べて多く起こり、上に行くほど NO₂ の濃度が薄くなる濃度勾配が生じた結果、見かけ上の上向きのフラックスとなった可能性も考えられる。現在フラックスと同時に取得した窒素酸化物濃度の鉛直プロファイルの解析を行っており、今後森林生態系における NO₂ フラックスの観測結果を検証する。

植物におけるクロロフィルの3次元分布モニタリング

°板倉健太（東大院、JST ACT-I），鎌倉以直（東大院），細井文樹（東大院）

1. はじめに

施設園芸における生育モニタリング過程では、葉面積や角度、草丈、植物器官の空間分布などの植物の3次元的な形態情報に加え、植物の生理情報の取得が必要である。これまで立体写真測量の技術を用いて得られた3次元(3D)モデルから、葉面積や草丈などの植物の構造情報が手動の解析により推定されてきた。発表者らは、3Dモデルから葉の自動認識を行い、葉の数や葉面積、葉傾斜角等の全自動抽出に成功した。次段階として植物の生理状態を3D画像にマッピングし、植物の構造および生理情報を統合した情報を得ることが望ましい。植物の生理状態を反映する指標としてクロロフィル量が広く知られている。

本研究では色情報よりクロロフィル量を推定し、推定精度の検証を行った。さらにストレス下の植物を対象とし、それらのクロロフィル量や構造情報の変化を経時的に観察した。

2. 実験方法

ナスの苗を対象とし、実験室内にて観察した。光源にはレフランプ（SFC製）を使用し、光源と植物の距離は約30cmとした。植物の周りを囲むようにデジタルカメラ（Canon EOS M2）を用いて植物を撮影（50枚）し、立体写真測量技術（Structure from Motion）を用いて対象植物の3Dモデルを再構成した。次に円形にくりぬいた葉から、クロロフィルの溶媒抽出（アセトン）を行った。その抽出液からクロロフィル量を定量し、3Dモデルから推定した値との比較を行った。

さらに水分ストレス下のナスの苗を5日間観察し、それらの3Dモデルの再構成を行った。そしてクロロフィル量と植物の葉傾斜角などの構造情報との統合的な解析を行った。

3. 結果

正規化R値とクロロフィル量は高い相関（ $R^2=0.81$ ）を示した。交差検証によるクロロフィル量の推定誤差は $0.69 \mu\text{g/ml}$ であり、3Dモデルのカラー情報から高精度にクロロフィル量を推定可能であることがわかった。Fig. 1に立体写真測量の技術により再構成された3Dモデル（左）と回帰式を用いて推定されるクロロフィル量をマッピングした3Dモデル（右）を示す。同一の葉内においてもクロロフィル量にばらつきがみられることがわかる。

水分ストレス下のナスを経時的に3D解析すると、水分ストレスが高まるにつれ、葉傾斜角やクロロフィルの低下が観察された。また3Dモデルを用いることにより、局所的な変化や、その違いを観察することができた。本手法を用いることで、植物の構造情報と生理状態の関連を明らかにし、さらにそれらを用いることで、より詳細な植物モニタリングが可能である。

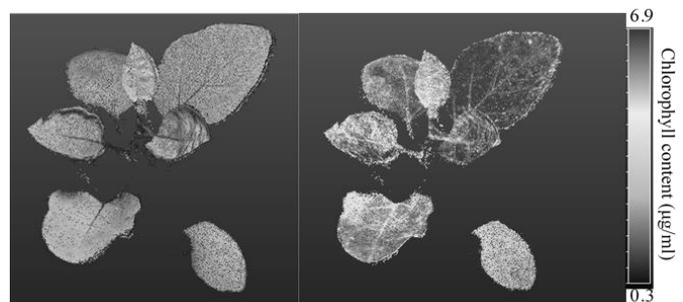


Fig. 1. Reconstructed plant three-dimensional model (left) and the distribution of chlorophyll content in the model (right).

CO₂施用速度-温室内植物個体群純光合成速度曲線リアルタイム推定法の改良

○川島崇志・富士原和宏・松田怜(東大院農)・大嶋勇樹(東大農)

はじめに 内外の環境が刻々と変化する温室において、ある時点での CO₂ 施用速度が温室内植物個体群(以後、植物個体群)の純光合成速度(P_n)に及ぼす影響を、CO₂ 施用速度変更前に推定できれば、CO₂ 施用速度を決定する上での重要な情報となる。これまで演者らは、CO₂ 施用速度- P_n 応答曲線(CP 曲線)をリアルタイムで推定する方法の開発を進めてきた(富士原ら, 2017, 2018)。本報告では、本推定法の問題抽出と修正・改良のために行った栽培試験の結果の一部を報告する。**CP 曲線リアルタイム推定法の概略** 本推定法は、対象とする温室における、現時点までの各種環境要素等の測定・算定値に基づいて、現時点での CO₂ 施用速度が、 P_n に及ぼす影響をリアルタイムで推定する手法である。まず、定植後の温室において、温室内の光合成有効量子束密度(PPFD)、気温、飽差の測定、CO₂ 収支に基づく P_n の算出、およびこれらの記録を、数分間隔で 20 日間程度継続して行う。その後、CO₂ 施用速度決定時点(現時点)で、記録データから、現時点での各環境要素レベルに“近い”環境要素レベルを有する時点の記録データを抽出(以後、デジャブ・データ抽出)する。すなわち、デジャブ・データ抽出では、PPFD・気温・飽差が「(現時点での測定値)±(許容差)」以内に全て収まるものを抽出する。このとき、抽出許容差の大きさが CP 曲線の推定精度に影響を及ぼす。次に、抽出データから、横軸: CO₂ 施用速度-縦軸: P_n の散布図を作成する。しかし、 P_n は植物個体群の成長に伴い増加するため、現時点の植物個体群での CP 曲線推定に、記録データの P_n を直接使用することはできない。そこで、各環境要素レベルが等しい場合、 P_n は植物個体群の夜間暗呼吸速度(R_d)に比例するとみなし、抽出データ記録時の P_n から、現時点の植物個体群での P_n を推定する。続いて、現時点の CO₂ 収支から、抽出データ記録時と同等の温室内 CO₂ 濃度の実現に必要な CO₂ 施用速度を算出する。最後に、作成した散布図から CP 曲線を回帰推定する。

材料および方法 透明アクリル樹脂製大型デシケータ(約 0.8 m³)をガラス室に設置し、内部に播種後 34 日目のキュウリ(*Cucumis sativus* L., ‘北進’)2 株を設置して 17 日間栽培した。デシケータ内は換気回数を一定とした(13.4±0.1 h⁻¹)。デシケータ内の気温・飽差・CO₂ 濃度、デシケータ外の CO₂ 濃度、屋外の PPFD を測定し、5 分ごとに平均値を算出した。6-18 時に CO₂ 施用を行い、30 分ごとに 6 段階で CO₂ 施用速度を変更した(図 1 下)。CO₂ 施用速度変更後 10 分間を除き、5 分ごとに P_n (または R_d) を算出した。1-16 日目の記録データをデジャブ・データ抽出用とし、17 日目 6-18 時の記録データを本推定法の検証に使用した。抽出許容差を、PPFD 10 μmol m⁻² s⁻¹、気温 0.1°C、飽差 0.1 kPa ずつ変更し、17 日目各時刻の CP 曲線を作成した。CP 曲線および CO₂ 施用速度に基づいて推定した P_n と、CO₂ 収支から算出した P_n (実測値)を比較し、 P_n 推定値-実測値間の平均平方二乗誤差(RMSE)を算出した。

結果および考察 17 日目 6-18 時の P_n 推定値-実測値間の RMSE は、抽出許容差が PPFD: ±110 μmol m⁻² s⁻¹、気温: ±2.5°C、飽差: ±0.4 kPa のとき、最小(1.47 μmol s⁻¹)となった(図 1 上)。PPFD の時間変化が大きい朝・夕の時間帯で推定精度が低い傾向が見られたことから、PPFD の時間変化の大きさに応じた許容差の設定を行うことで、推定精度を一層高められる可能性がある。

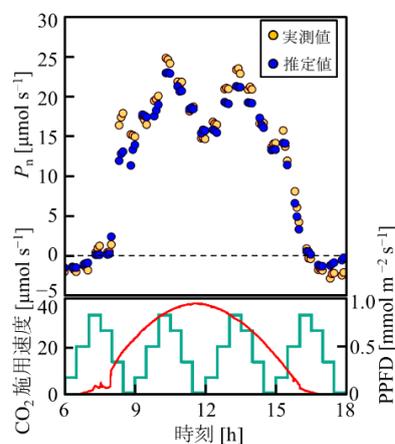


図1 1-16日目測定値から求めたCO₂施用速度-植物個体群純光合成速度(P_n)応答曲線に基づく17日目6-18時の P_n 推定値と、CO₂収支に基づく P_n 実測値との比較(抽出許容差 PPFD: ±110 μmol m⁻² s⁻¹/気温: ±2.5°C/飽差: ±0.4 kPa)(上)および17日目6-18時のCO₂施用速度設定値と光合成有効量子束密度(PPFD)(下)

消費電力および個葉純光合成速度に基づく人工光栽培用の
 蛍光体利用白色 LED の評価法
 ○陳元浩, 松田怜, 富士原和宏 (東大院農)

はじめに 蛍光体利用白色 LED (白色 LED) は人工光栽培用の光源として利用され始めている。白色 LED に用いる蛍光体の種類とその量により光の相対分光分布 (RSD) は異なる。現在、数十種類以上の白色 LED が市販されている。これらの白色 LED から、人工光栽培に好適なものを選択するには、合理的な評価指標と、多種類の白色 LED についてその指標値を短時間で求める方法が必要である。筆者らは、白色 LED を選択する第一段階の評価指標の一つとして、個葉純光合成速度 P_n [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] を、単位時間単位栽培面積あたりの白色 LED の消費電力 E [W m^{-2}] で除した値である P_n/E [$\mu\text{mol J}^{-1}$] を提案している。また、これとともに、白色 LED 光の RSD が P_n に及ぼす影響の短時間調査法を開発した。この調査法では、LED 人工太陽光光源システム (Fujiwara et al., 2013) を用いて、複数の白色 LED 光の RSD に近似した光を作出し、それぞれを同一葉に連続で数十分間ずつ照射する。ここでは、市販されている 31 種類の白色 LED について P_n/E を求めた。

材料および方法 20 日間栽培したコスレタス (*Lactuca sativa* L.) を P_n 測定に供した。栽培光源には上記の 31 種類白色 LED から 1 種類 (図 1.a) を用いた。 P_n 測定には携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400, LI-COR 社) を用いた。 P_n 測定の照射光には、31 種類白色 LED それぞれを用いた場合に得られる、葉面におけるその光の分光分布 (光合成有効光量子束密度: $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を、LED 人工太陽光光源システムを用いて近似して作出した光 (近似光, 図 1 a, b) を用いた。栽培光の近似光を照射した C 区、および他の 30 種類の白色 LED の近似光を照射した 1~30 区、計 31 試験区を設けた。実験では、C 区の光を 60 min 照射し、続いて 31 試験区の光それぞれを同一葉に連続で 25 min ずつ照射した。試験区の順番を乱数で決定した。異なる葉を用いて実験を 5 回反復した。 E の計算には、白色 LED それぞれのデータシートに記載されている順電流、順電圧、光束、および相対分光放射強度分布に基づいて求めた。

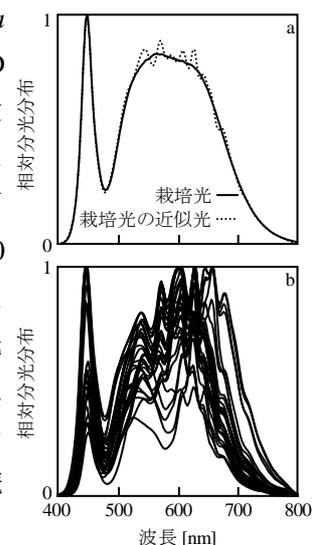


図 1 栽培に用いた白色 LED 光 (栽培光) とその近似光 (a)、および他の 1~30 区の近似光 (b) の相対分光分布

結果および考察 31 試験区の P_n は $7.86\text{--}8.99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 E は $69.3\text{--}95.0 \text{W m}^{-2}$ 、および P_n/E は $0.090\text{--}0.146 \mu\text{mol J}^{-1}$ であった (データ略)。C 区に対する 10、15 および 26 区の P_n 相対値について、本実験の結果は、予備実験でこの 4 種類の光それぞれを単独で 16 h 照射した場合の結果と同程度であった (データ略)。このことから、C 区に対する他の 27 試験区の P_n 相対値についても、この調査法で調べた結果は、それぞれを単独で照射した場合の結果と同程度であると考えられる。市販されている白色 LED から人工光栽培に好適な白色 LED を選択する場合には、例えば、第一段階では P_n/E に基づいて白色 LED を短時間で評価し、第二段階では P_n/E が上位に位置する白色 LED の一部を用いて栽培実験を行うことになる。

生育モデルとメッシュ農業気象データを用いたダイズの栽培管理支援システムの構築

○中野聡史(農研機構農環研), 松尾直樹(農研機構九沖農研), 熊谷悦史(農研機構東北農研), 高橋智紀(農研機構東北農研), 岡田周平(ビジョントック), 中川博視(農研機構農環研)

1. はじめに

北陸地域は「エンレイ」、関東地域は「タチナガハ」がダイズの主要品種として広く栽培されてきたが、大粒で耐倒伏性が高い新品種「里のほほえみ」の導入が進んでいる。「里のほほえみ」は「エンレイ」に比べて晩生であるため、新潟県では「里のほほえみ」を導入することにより作期の分散が進められている。稲、麦類、大豆などの土地利用型作物では収益向上のために大規模化が進められており、生育特性の異なる品種を組み合わせることによる作期の分散は労働力の確保や農業機械の効率的な利用において有効な手段と考えられる。

一方、作物の生育は品種の生育特性と地域の気象条件の組合せによって大きく変化する。そこで、本研究では、品種特性を考慮したダイズの生育予測モデルおよび生育・収量予測モデルと任意地点における気象情報を提供可能な「メッシュ農業気象データ」を組み合わせることにより、ダイズの栽培管理を支援する Web システムの構築を検討した。

2. 方法

ダイズの生育予測モデルおよび生育・収量予測モデルを作成するために、盛岡、つくば、筑後において栽培試験を実施した。

生育予測モデルは気温と日長時間による指数関数式のモデルを用いた。対象品種は、国内主要品種である「ユキホマレ(北海道)」、「リュウホウ(東北)」、「エンレイ(北陸)」、「フクユタカ(東海・四国・九州)」に加えて、新品種である「シュウリュウ(東北)」、「里のほほえみ(北陸・関東)」、「サチユタカ A1 号(中国)」の計 7 品種とした。推定対象の生育期は開花期(R2)、子実肥大始期(R5)、成熟始期(R7)とした。

生育・収量予測モデルは Sinclair モデルを基として、日本の品種および栽培条件に対応した生育予測モデルと葉面積展開モデルを追加した。対象品種は「リュウホウ」「エンレイ」「フクユタカ」の 3 品種とした。生育・収量予測モデルはつくばでの栽培データを用いてモデルの構築を行い、盛岡、つくば、筑後の栽培データを用いてモデルの検証を行った。

3. 結果と考察

栽培管理支援システムでは、「メッシュ農業気象データ」の日平均気温と緯度および日付から算出した日長時間を生育予測モデルに入力することで、任意の地点、作期におけるダイズの生育期を推定可能とした。また、日平均気温と日積算日射量からダイズの生育・収量が推定可能となったが、ここで推定した生育・収量は土壌の養水分や病害虫の影響を考慮しないポテンシャル値であるため、これらのストレスを考慮した生育・収量予測モデルの構築については更なる検討が必要である。

生育予測モデルによる出芽期～R2 のモデル当てはまり誤差は 2 日以内であり、中耕培土や薬剤散布などの作業計画の策定に利用可能であると考えられた。また、子実収量の推定誤差は筑後よりも盛岡で小さくなった。これは、盛岡におけるダイズの生育・収量が筑後よりも気温や日射量などの気象要因によって規定されていることが要因であると考えられた。

本研究は、SIP「次世代農林水産業創造技術」(管理法人：農研機構生研支援センター)の支援を受けて行った。