

平成 28 年 9 月 21 日

北海道大学 北極域研究センター長 殿

氏 名 田原 成美

終了報告書

・派遣支援先 機関名：アラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター（国名：アメリカ合衆国）

・受入研究者 Hajo Eicken 所長

・研究課題名（和文・英文）

（和文）北方林火災からの回復に伴う植物生理特性変化

（英文）Successional change in photosynthetic capacities after wildfires across the North American boreal forest

・派遣支援期間：平成 28 年 7 月 22 日 ～ 平成 28 年 8 月 17 日

1. 派遣支援期間中の研究実施概況

派遣対象者は、今回の支援を受け、米国のアラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター (IARC) に約1ヶ月間滞在した。支援期間中の研究目的は、複数の森林サイトにおいて植物の光合成能力に関する指標を観測することである。

派遣対象者は、これまでに複数の北方林において渦相関法により得られた群落光合成速度を用い、群落光合成モデルを最適化し、個葉あたりの25°Cにおける最大カルボキシル化速度($v_{C_{max25_leaf}}$)を逆推定した。今回の観測では、逆推定を行ったアラスカの3つの森林サイトにおいて、優占する植物の光合成速度と代替となりうる指標を観測した。得られたデータは、今後、逆推定で得られたカルボキシル化速度の検証に使用する。

本派遣支援期間中は共同研究者である永野博彦博士をはじめ、多くの研究者と議論を深めた。さらに、アラスカにおける北方林の渦相関法によるデータを提供いただいている共同研究者のEugénie S. Euskirchen准教授とも研究成果について議論し、今後の研究方針について助言を受けた。今回の派遣期間において議論が深まったことは、今後の研究に役立つ貴重な経験となった。

2. 本派遣中における成果

はじめに

群落光合成モデル (iBLM-EC; Ueyama *et al.*, 2016) を用いた解析対象サイトのうちアラスカ内陸部にある永久凍土上のクロトウヒ成熟林(以下UAFサイト: 64°51'58"N, 147°51'20"W)、永久凍土がないクロトウヒ成熟林(以下Deltaサイト: 63°53'10"N, 145°46'33"W)、および火災跡地から10年目の落葉広葉樹林(PFサイト: 65°07'11"N, 147°25'44"W)において野外調査を行った。群落光合成モデルで算出された $v_{C_{max25_leaf}}$ について、DeltaサイトとUAFサイトは同じ成熟林であるにもかかわらず、3倍近くUAFサイトの方が高い(図1)。この原因として、それぞれの森林において、群落スケールの光合成能力に最も寄与する植物が異なる可能性や、同じ植物種であっても森林の栄養状態の違いによって群落スケールの光合成能力に違いが生じた可能性が考えられた。火災跡地であるPFサイトの優占種はTrembling Aspen (*Populus tremuloides*)、Paper Birch (*Betula papyrifera*)などの落葉広葉樹であった。優占種の違いが永久凍土のある成熟林とない成熟林、および火災跡地の光合成能力に大きく影響していると仮説を立てた。

今回、派遣支援を受けて行った観測では、現地で光合成速度とその指標(SPAD値)を計測し、群落光合成モデルの結果を検証した。

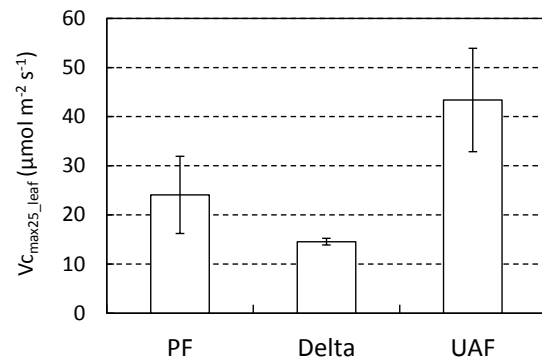


図1 群落光合成モデルにより算出された7月における $v_{C_{max25_leaf}}$

野外活動による観測結果

今回の渡航では、ほぼ計画通りに野外調査を完了できた。UAF・Delta・PFサイトに複数回訪れ、SPAD計(SPAD-502, コニカミノルタ)を用いたSPAD値の測定と、自作の開放式チャンバーを用いた光合成速度の測定を行った。以下にそれぞれの調査の概要とその成果の詳細を述べる。

(1)葉緑素の指標(SPAD値)

SPAD値を、3つの森林それぞれで、1つの植物種につき、5サンプル以上のデータを同時期(8月上旬)に計測した。3つの北方林の植生は多少異なっており、すべての北方林で生育するBlack Spruce (*Picea mariana*)、Common Labrador Tea (*Ledum groenlandicum*)、Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*)、Blue Berry (*Vaccinium uliginosum*)について、SPAD値の比較を行った。今後、より詳細な解析を行う予定であるが、以下に初期解析結果を報告する。

3つの森林のBlack Spruce、Common Labrador Tea、Lingon Berry、Blue Berryについて、3つの森林間でSPAD値に有意な差がみられた(順に、 $p = 0.006$ 、 $p < 0.001$ 、 $p < 0.001$ 、 $p < 0.012$)。PFサイトでは、SPAD値が高い傾向がみられた。

この原因として、火災跡地であるPFでは利用可能な窒素が成熟林よりも多かった可能性が考えられる。今回の結果から、異なる森林における光合成能力は、同一種であっても異なる可能性が示唆された。群落光合成モデルで $v_{C_{max25_leaf}}$ は、Delta > UAFの傾向があり、今回得られたSPAD

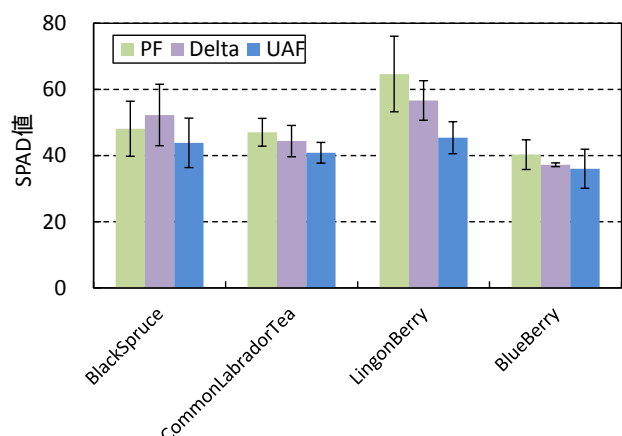


図2 PF・Delta・UAFサイトにおけるそれぞれの植生におけるSPAD値

値ではUAF>Deltaの傾向がみられた。このことは、群落光合成モデルにおける $v_{C_{max25_leaf}}$ に、植物種の光合成能力の違いの影響がない可能性を示唆している。今後はCN比測定も含めた詳しい解析を行う予定である。

(2)チャンパー法による光合成指標

自作の開放型チャンパー法を使用して個葉の光合成速度を測定し、One-point method(Kauwel *et al.*, 2016)を用いて個葉の $v_{C_{max25_leaf}}$ を算出した。以下に開放式チャンパーの仕様を説明する(図3)。

完全に密閉できる透明プラスチック容器をチャンパーとして利用した。植物の葉を、枝から切り離さずにプラスチック容器の隙間からチャンパー内に入れた。葉を入れた後はその隙間に粘土を貼り付けチャンパー内を密閉させた。チャンパーには、バッファーからポンプを利用して空気を送り、その流量をマスフローメーターで記録した。ファンを使用してチャンパー内およびバッファー内の空気を攪拌した。チャンパー及びバッファー内に温湿度センサーを設置して、温度および相対湿度を記録した。また、流入口および流出口における二酸化炭素濃度を赤外線ガス分析計で測定し、チャンパー内と大気間の二酸化炭素濃度の差を算出した。また、PARセンサーを設置し、計測時の光合成有効放射量(PPFD)を測定した。

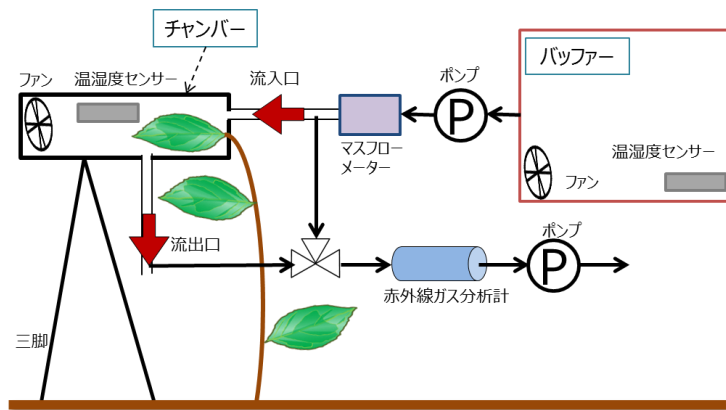


図3 開放型チャンパーの模式図

開放式チャンパーを用いた光合成速度の測定は、7月27日から8月15日の晴天日の9時~15時に行われた(写真A)。UAFサイトでは、Black Spruce、下層植生のBog Birch (*Betula glandulosa*)、Common Labrador Tea、Small Red Peat Moss (*Sphagnum capillifolium*)の4種、PFサイトで、落葉広葉樹林であるTrembling Aspen、White Birchの2種の光飽和時の光合成速度を測定し、それぞれの植物種について $v_{C_{max25_leaf}}$ を算出した。Deltaサイトでも同様に観測する予定計画であったが、天候がすぐれず、測定の都合上十分なデータを取得できなかった。

光合成有効放射量(PPFD)に対する光合成速度について、UAFサイトとPFサイトでそれぞれBlack SpruceとTrembling Aspenの結果について図3に示した。



写真A) PFサイトで開放型チャンパーを用いた観測の様子

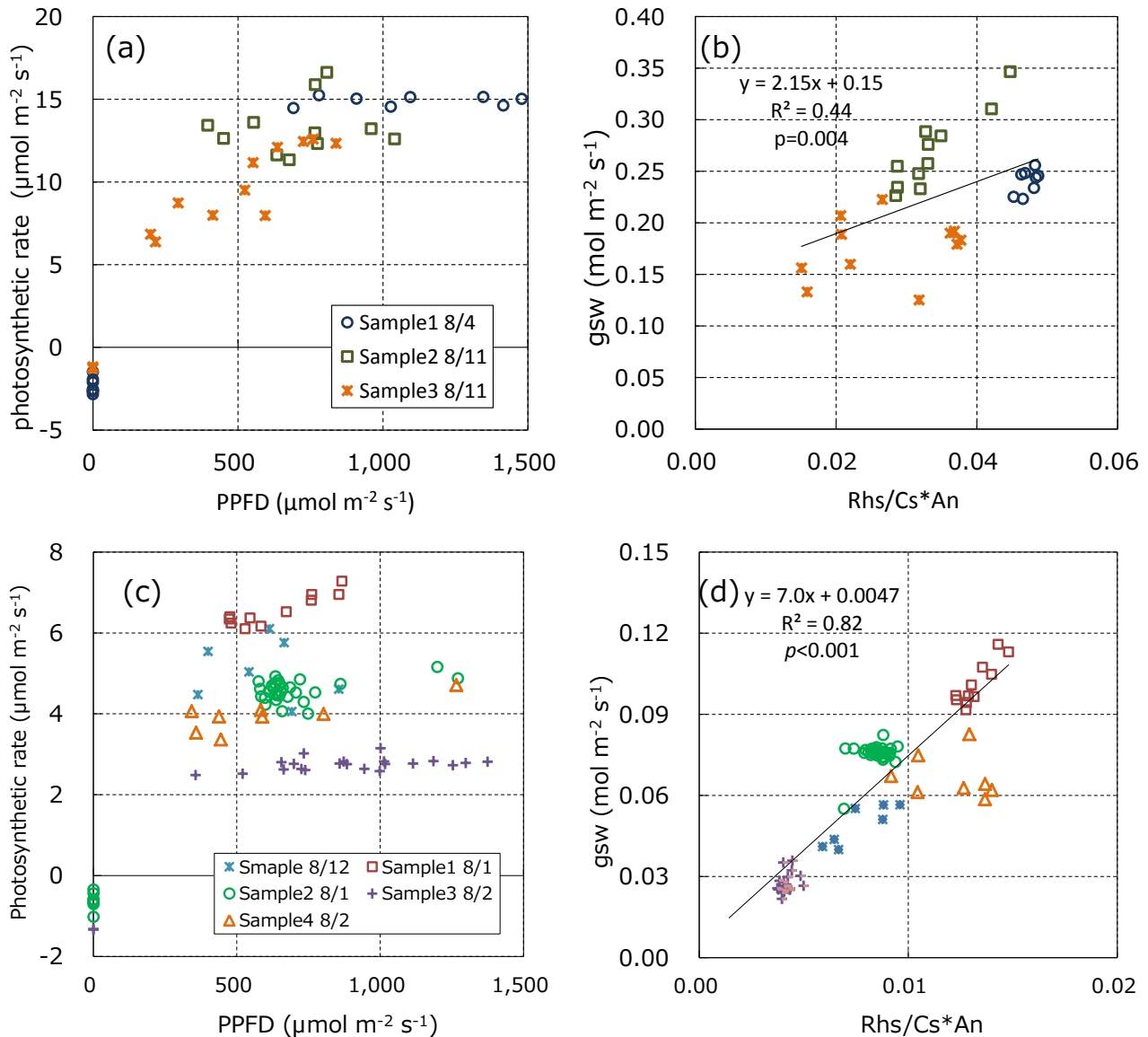


図3 光合成速度と PPFD の関係(a, c)、および気孔コンダクタンス(g_{sw})と CO_2 濃度(Cs)、光合成速度(An) および相対湿度(Rhs)の関係(b, d)。代表例として、a) および b) には PF サイトの Trembling Aspen、c) および d) には UAF サイトの Black Spruce についての観測結果を示した。b) 及び d) 内の回帰式の傾きは Ball 型の気孔コンダクタンスモデルに関する m である。

PFサイトに生育するTrembling Aspenについて、PPFDが $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の時に、 $12\sim 17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度であった。全てのTrembling Aspenのデータについて、気孔コンダクタンス(g_{sw})のRhs/Cs*Anに対する応答を線形回帰すると、その傾きは約2.15となった(図3b; $p < 0.004$)。UAFサイトのBlack Spruceについては、PPFDが $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の時に、 $2\sim 8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度であった。UAFサイトについては、測定サンプルごとに、光合成速度の違いが大きく異なる傾向がみられたが、この原因として、測定時の気温や湿度環境の違い、またそれぞれの測定サンプルの光合成能力の違いのためと考えられる。また、全てのBlack Spruceのデータについて、 g_{sw} のRhs/Cs*Anに対する応答を線形回帰したときの傾きは約7.0であり(図3d; $p < 0.001$, $R^2 = 0.82$)、高い相関がみられた。複数の測定サンプルで相関が高い線形回帰直線が得られたことは、気孔コンダクタンスに対する光合成速度の関係性が測定サンプルごとで同様なことを意味している。

葉群チャンバーを用いて観測した光合成速度から、以下の式(式1)を利用して、 $v_{C_{max25_leaf}}$ を仮算出した。

$$v_{C_{max25_leaf}} = A_{sat} \left(\frac{C_i + K_m}{C_i - I^*} - 0.015 \right) \quad (式1)$$

ここで、 A_{sat} は、飽和光下の際の植物の光合成速度であり、 C_i はカルボキシル化と酸素化が起こる場所での CO_2 の分圧、 K_m はミカエリスメンテン定数である。 I^* は、ミトコンドリア呼吸がない状態での CO_2 補償点である。図4にそれぞれの植生における $v_{C_{max25_leaf}}$ の概算値を示した。今後、暗所での暗呼吸の結果を $v_{C_{max25_leaf}}$ の算出に用いることで $v_{C_{max25_leaf}}$ の値をより正確に見積もる予定である。

PFサイトのAspenとBirchが $50 \sim 70 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ とUAFサイトの植物種に比べて $v_{C_{max25_leaf}}$ が高かった。今回観測を行ったUAFサイトの植物種では、Bog Birchが $40.9 \pm 6.3 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ と最も高かった。群落光合成モデルによる算出結果に比べPFの2種の $v_{C_{max25_leaf}}$ は高い結果となった。群落光合成モデルを用いた群落光合成速度の逆解析で得られたUAFサイトの $v_{C_{max25_leaf}}$ は $43.4 \pm 10.5 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ となり、今回観測で得られたBlack Spruceの $v_{C_{max25}}$ ($27.7 \pm 5.6 \mu mol m^{-2} s^{-1}$)より低かった。図4の結果から、UAFサイトには、Bog BirchなどBlack Spruceよりも光合成能力が高い下層植生が存在しており、これら下層植生が群落スケールの光合成能力に寄与している可能性が示唆された。

3. 今後の予定

今後、チャンバー法による蒸散、光合成速度に関するデータを再整理するとともに観測した暗呼吸を評価して $v_{C_{max25_leaf}}$ を再算出する。さらに、チャンバー観測時の渦相関法による群落光合成速度のデータを整備し、モデルを用いて本観測年の $v_{C_{max25_leaf}}$ を逆推定する。渦相関法によるデータによる逆推定結果と本調査で得られた $v_{C_{max25_leaf}}$ を比較検討し、北方林火災にともなう群落光合成の回復過程に関する評価を進める。

10月10～13日にロシアで開催される日露若手研究交流会において、今回の派遣での観測結果を含めたポスター発表をする予定である。

引用文献

Martin G. De Kauwe *et al.*, 2016. A test of the ‘one-point method’ for estimating maximum carboxylation capacity from field-measured, light-saturated photosynthesis: *New Phytologist*, 210, 1130–1144

Masahito Ueyama *et al.*, 2016. Optimization of a biochemical model with eddy covariance measurements in black spruce forests of Alaska for estimating CO_2 fertilization effects: *Agricultural and Forest Meteorology*, 222, 98–111

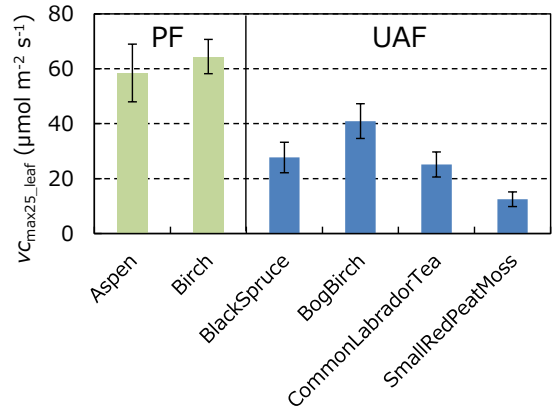


図4 リーフチャンバーの観測から算出されたそれぞれの植物種の $v_{C_{max25_leaf}}$ の概算値