

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 3 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25241002

研究課題名(和文) 北方森林生態系における大規模攪乱後の植生遷移にともなう炭素動態の変化

研究課題名(英文) Successional change in carbon dynamics in northern forest ecosystems after severe disturbance

研究代表者

平野 高司 (HIRANO, Takashi)

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：20208838

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,800,000円

研究成果の概要(和文)：攪乱の履歴が異なる北海道の2つの森林(風倒害による大規模攪乱を受けた後に自然更新が進むカラマツ林跡地と皆伐後のカラマツ植林地)において、炭素収支の変化を明らかにすることを目的として、植生遷移の過程、炭素蓄積量、CO₂収支などに関する野外観測を行った。台風跡地では、攪乱後7年までは積算NEEが徐々にゼロに近づいたが、それ以降はわずかに正(放出源)のままであった。一方、カラマツ若齢林では、攪乱後7年目から年収支でCO₂吸収源に回復した。このような違いは、下層植生と攪乱後に残置された粗大有機物の有無に依存する考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate the carbon balance of northern forest ecosystems in succession, long-term field experiments have been conducted in two differently disturbed forest ecosystems in Hokkaido, Japan: a naturally re-growing ex-larch forest after severe disturbance due to windthrow (Tomakomai) and a newly opened larch forest (Teshio). The experiments include vegetation survey, soil assessment and CO₂ flux measurement by the eddy covariance and chamber techniques. In Tomakomai, annual net ecosystem CO₂ exchange (NEE) had approached to zero (carbon neutral) until the 7th year after disturbance, though NEE remained positive (a carbon source) after that. In Teshio, however, the young larch forest became carbon neutral in 7 years. The difference between the two forests suggests that undergrowth vegetation and coarse woody debris plays important roles in NEE.

研究分野：農林気象学

キーワード：台風 皆伐 植林 カラマツ林 渦相関法 チャンバー法 バイオマス

1. 研究開始当初の背景

森林生態系は大気 CO₂ の吸収源 (シンク) として期待されている。しかし、森林の CO₂ 吸収量は攪乱の影響を強く受け、伐採、火災、風倒などによって大規模な攪乱が生じると CO₂ 収支が大きく変化し、森林が CO₂ 放出源 (ソース) になることが多い。これは、主に植物葉の減少 (光合成の低下) と植物枯死体の供給 (有機物分解の増加) の結果である。今後、地球温暖化の進行にともない、森林火災や強大な熱帯低気圧の発生割合が増加する可能性が高い。このような環境では、大面積の森林が甚大な被害を受け、被災した森林が大規模な CO₂ ソースになる危険性が高くなる。例えば、2005 年のハリケーン・カトリーナにより、米国の森林の年間 CO₂ 吸収量の 50~140% に相当するバイオマス (炭素蓄積) が枯死あるいは深刻な被害を受けたと報告されている (Chambers *et al.*, 2007)。攪乱の結果として大量に発生した残置有機物から、分解過程を通じて多くの CO₂ が放出される。一方、攪乱後の植生回復により CO₂ 吸収量が増加するため、正味の CO₂ 放出量は減少していく。微気象学的方法 (渦相関法) を用いて攪乱履歴の異なる森林で観測された CO₂ フラックス (大気 - 生態系間の CO₂ 交換量) のデータセットを統合的に解析した研究 (クロノシーケンス) は、北米の森林では大規模攪乱後ほぼ 10~15 年で CO₂ のソースからシンクに変わると報告した (Amiro *et al.*, 2010; Goulden *et al.*, 2011)。大規模攪乱および攪乱後の植生回復にともなう CO₂ 収支の変化を実測により定量的に評価し、得られた成果をモデル化することは、森林生態系の炭素動態を理解し、地球規模での炭素収支を正しく評価・予測するために極めて重要である。また、攪乱の影響は規模や原因 (火災、風倒など) によって異なるため、実測に基づく情報・知見のさらなる蓄積が不可欠である。しかし、既存の知見のほとんどは、クロノシーケンスを利用した研究によるものであり、森林の立地環境や種組成の違いが十分に考慮されておらず、大きな不確実性が残されている。そのため、同一の森林において、大規模攪乱の前後の炭素収支を植生の回復過程とともに長期にわたり実測し、炭素動態の変化パターンを精緻に解析して定量化することが強く求められている。しかし、攪乱後の 5 年以上を含む長期の観測研究は、申請者らのものを除いて見当たらない。

2. 研究の目的

森林生態系は大気 CO₂ の吸収源として期待されているが、伐採、火災、風倒などにもなう大規模攪乱によって CO₂ 収支が大きく変化し、大きな CO₂ 放出源になることが知られている。今後、地球温暖化の進行にともなう森林攪乱の規模が大きくなることが懸念されているが、森林生態系の炭素動態について、攪乱前後の変化および攪乱後の植生遷移

(回復) にともなう変化を、CO₂ 収支の直接的な長期観測に基づいて評価した研究例はない。本研究では、攪乱の原因と程度が異なる北海道の研究サイト (攪乱跡地) で、植生遷移の過程、炭素蓄積量、CO₂ 収支などに関する長期の野外観測を行い、炭素収支の変化を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究サイト

苫小牧サイト (国有林) は 1950 年代に植林されたカラマツ林で、2000 年に国立環境研究所が CO₂ フラックスのモニタリングを中心とした森林生態系の炭素循環に関する総合的な観測研究を開始した。しかし、2004 年の台風 18 号にともなう強風により、約 90% のカラマツが「幹折れ」や「根返り」などの甚大な被害を受け、研究が休止に追い込まれた。その後、木材利用の目的でカラマツの樹幹部は撤去されたが、根株や枝葉などは残置された。また、一部の場所では、倒木とともに表層の有機質土壌 (A 層) も除去され、多量の火山礫を含む未発達な土壌 (C 層) が地表面に現れた状態となった。一方、天塩サイト (北海道大学研究林) では、針広混交林の皆伐の後にカラマツの植林を行い、森林伐採 (2002~2003 年冬) 植林 (2003 年秋) 育林を通じた森林生態系の CO₂ 吸収能力の変化を明らかにすることを目的に、2001 年から観測研究を行っている。森林更新 (伐採、植林) の過程で林床に繁茂していたササの多くが残されたため、攪乱 (伐採) 後にはササが優占した状態が続いている。

(2) 方法

CO₂ フラックスの観測は、微気象学的方法 (渦相関法) と自動開閉型チャンバシステムを用いて行う。渦相関法は、森林などの陸域生態系と大気との間の正味 CO₂ 交換量 (NEE) を測定する標準的な方法で、経験的なモデルを適用することで、実測された NEE (= RE - GPP) を生態系光合成 (GPP, CO₂ 吸収) と生態系呼吸 (RE, CO₂ 放出) に分配することができる。同時に、エネルギーフラックス (顕熱、潜熱フラックス) の観測も行った。また、複数のチャンバーをいくつかの条件で適用することで、RE を根呼吸、土壌中の微生物呼吸 (土壌有機物の分解)、土壌呼吸 (土壌からの CO₂ 放出) (根呼吸 + 微生物呼吸) および植物地上部の呼吸などに分解し、個別に評価することができる。

定期的に植生の刈り取りを行い、種組成および種ごとの部位別バイオマスを定量化するとともに、リターフォール (落枝・落葉) 量の測定も行い、植生の純一次生産量 (NPP) を見積もる。また、光合成 (GPP) を決定する要因の一つである葉量 (葉面積指数) の季節変化 (フェノロジー) を求める。過去のデータも含めて観測データを解析し、攪乱後の植生遷移を明らかにする。さらに、残置粗大

有機物量および土壌炭素量を測定して生態系の炭素蓄積量を定量化し、その変化量(NEPに相当)を年単位で推定する。

苫小牧サイトの落葉樹林(カラマツの残存林)と常緑針葉樹林(エゾマツ林)に根切り区を設置し、土壌CO₂フラックスをマニュアルチャンバーで測定して、土壌呼吸を根呼吸と微生物呼吸に分離した。また、同時に土壌コアサンプルを採取して、細根(直径2mm以下)のバイオマス、枯死量および成長量を定期的に測定し、根呼吸と細根動態の関係を解析した。

天塩サイトにおいて、ハイパースペクトルカメラ(LCTF(液晶波長可変フィルター)カメラ)を用いてキャノピーの分光反射率を連続観測した。渦相関法で測定されたCO₂フラックスと光合成有効放射量(PAR)に非直角双曲線を当てはめ、毎日の最大光合成速度(A_{max})と光-光合成曲線の初期勾配()を求めた。これらの光合成パラメータをLCTFカメラ画像から得られた光学指標で推定することにより、光学指標からGPPを推定することを試みた。まず、光合成パラメータと相関の高い正規化スペクトル指数($NDSI[i, j] = (R_i - R_j) / (R_i + R_j)$, R_x はx nmの反射率)の探索を行った。LCTFカメラ画像の全33バンドから網羅的に2バンドを選択してNDSIを作成し、それぞれの光合成パラメータに対して単回帰分析を行った。最も高い決定係数が得られたNDSIを用いて光合成パラメータの回帰式を作成した。

4. 研究成果

(1) 植生変化にともなうバイオマスと土壌炭素の変化

苫小牧サイト

下層植生は、倒壊前はオシダ属が優占したが、倒壊後は2010年ごろまではエゾイチゴが、2011年以降はオオアワダチソウが優占した。観測サイトの総地上部バイオマス(AGB)は、森林攪乱によって約90 Mg ha⁻¹から2.7 Mg ha⁻¹へと減少し、その後、2010年頃にかけて下層植生AGBが約5.0 Mg ha⁻¹まで回復した。2010年以降は高木AGBが増加したものの、下層植生AGBが漸減したため、総AGBの増加は頭打ちとなった。2010年頃から高木バイオマスが著しく増加した。個体の追跡調査の結果、毎年全体の約5%の個体が枯死するが、枯死個体数以上の木本個体が翌年0.5m以上に成長したため、高木個体数は増加した。また、枯死個体のバイオマスは高木バイオマス全体の2%以下であり、バイオマスの小さな個体が多く枯死していたことがわかった。なお、2014年(攪乱後10年目)の時点で、シラカンバ、ダケカンバが個体数の50%、バイオマスの75%を占め、平均樹高が2.1mに達したが、胸高断面密度は1.12 m² ha⁻¹であり、森林としては疎である。バイオマスの変化から森林倒壊後のNPPを推定した結果、倒壊直後の2006~2007年には220 g C m⁻² y⁻¹、2007

~2009年には137~138 g C m⁻² y⁻¹、オオアワダチソウが優占し高木バイオマスが増加した2011~2014年には168~172 g C m⁻² y⁻¹となり、2010年以降は、高木によるNPPが総NPPの20~35%を占めた。今後、高木バイオマスの増加にともなうNPPも増加するものと予測される。総NPPに対する地下部の寄与は2~4割と小さくなかったため、NPPの正確な推定には、細根のターンオーバーなど地下部の炭素動態の詳細な把握が必要である。

森林攪乱は、土壌の炭素貯留量を減少させる。しかし、その炭素貯留の減少は、リター供給減少によるものなのか、既にある土壌炭素の減少によるものなのか、寄与の大きさについては十分議論されていない。そこで、未攪乱の落葉樹林(UL)と攪乱後10年経過したの天然更新地(シラカンバ林床:DBとオオアワダチソウ群落DS)において、リター、ルートマット、土壌A層の総炭素(T-C)および土壌A層の軽比重炭素(LF-C)を測定し、攪乱後土壌の炭素含有量変化の要因を検討した。リター供給量はULでDB、DSより大きい傾向となった。土壌の総炭素貯留量はUL、DB、DSで有意な差はなかったが、ルートマットのTCおよびLF-Cは、ULでDBやDSを有意に上回った。LFは植物リター由来の炭素と考えられるため、攪乱によってリターや枯死根を通じた炭素のインプットやルートマットが減り、その結果土壌表層LF-Cも減少する。攪乱前の土壌炭素貯留量がULサイトと同程度と仮定すると、ルートマットとA層のLF-Cが攪乱による土壌炭素貯留量の変動へ大きく寄与することが明らかになった。

天塩サイト

ササと表層土壌を剥ぎとった後に放置した天然更新プロット平均の樹木(シラカンバ)の炭素貯留量は8.41±2.39 t C ha⁻¹であり、同様にササと表層土壌を剥ぎとった後にカラマツを植林したプロットの炭素貯留量(14.4 t C ha⁻¹)に比べて少なかったものの、ササを筋状に刈り払い植林を行ったフラックスサイトのカラマツ植林地の炭素貯留量(3.2 t C ha⁻¹)に比べて多かった。表層土壌とササを剥ぎとることによって、作業時に相当量のCO₂が放出されることが懸念されるが、森林造成を行う上では有用な方法であることが明らかになった。

(2) 土壌呼吸量

苫小牧サイトでは、攪乱2~4年後と7年後以降、全てのチャンバーの土壌CO₂フラックスは、地温の指数関数で近似できた。攪乱3, 7, 11年後の土壌呼吸量(微生物呼吸+根呼吸)の年積算値(平均)は、580, 790, 850 g C m⁻²となり、増加傾向にあった。一方、攪乱7, 11年後の根切り区の微生物呼吸の年積算値(平均)は、それぞれ740, 580 g C m⁻²となった。土壌呼吸の増加傾向は、地下部バイオマスの増加や、落葉や枯死根による有機物供給量の増加によると推察される。微生物呼

吸量は、攪乱7年後は土壤呼吸量と同程度であったが、攪乱11年後は土壤呼吸量に比べ有意に小さくなった($P < 0.05$)。この傾向は、カナダの北方林攪乱直後(0年以内)に両者に有意差がないという報告と一致した(Epron, 2009; Bond-Lamberty et al., 2004)。同じ地点で測定し続けた土壤呼吸は、設置3年後以降、減少傾向を示した。5年間植物地上部除去を続けたチャンパー内の地下部バイオマス(平均 48 g C m^{-2})は、チャンパー外(平均 205 g C m^{-2})より有意に少なかった($p < 0.01$)。したがって、攪乱9~10年後の土壤呼吸量の減少は、チャンパー内の地下部バイオマスの減少によると推察された。木本の根系が十分に発達していないサイトでは、チャンパー設置から長時間経過した場合、地下部バイオマスが減少し土壤呼吸量が過小評価されるため、長期モニタリングの際留意する必要がある。

天塩サイトでは、無雪期間における土壤呼吸量の平均値は $5.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、根呼吸が2/3を占めていた。経年変動は小さい(変動係数は15%)ものの、経年変動や空間変動は主に周辺の下層植生(ササ)バイオマス量で説明することができた。

(3) 細根動態

直径が2 mm以下の細根は機能性が高く、森林生態系の地下部の炭素循環を支配する。細根の動態(生産、枯死、分解)は根呼吸の変動に深く関わっているが、両者の関係については野外実験に基づく知見が不足している。そこで、森林生態系の炭素循環における地下部の役割を理解するために、苫小牧サイトの常緑針葉樹林と落葉樹林において、土壤呼吸を根呼吸、落葉層の分解および微生物呼吸に分離して評価するとともに、細根動態の環境依存性および根呼吸との関係を明らかにした。

隣接した落葉樹林と常緑針葉樹林で根切り処理とリター処理を行い、積雪期を除いて各月1~2回の頻度でチャンパー法により土壤 CO_2 フラックスを測定し、土壤呼吸を分離評価した。また、同一のプロットで表層土壤の採取を行い、細根バイオマスを測定するとともに、連続コア法とイングロースコア法を用いて細根動態(生産、枯死、分解)を定量化した。まず、ルートリターバッグ法によって根切りで生じた枯死根の分解を測定した結果、分解速度が太根よりも細根で速いことなどが分かった。得られた分解係数を用いて2014年11月からの年間分解量を推定したところ、落葉樹林と常緑樹林でそれぞれ136, 95 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となり、この量を考慮しないと根呼吸がかなり過小評価されることが確認できた。土壤呼吸の各構成要素は7月下旬にピークを持つ明瞭な季節変化を示した。これらの土壤 CO_2 フラックスは、地温とともに指数関数的に上昇した($p < 0.05$)。土壤水分との間には有意な相関は認められなかつ

たため、地温の連続データを用いて2014年11月からの年間値を推定した。その結果、土壤呼吸、根呼吸、微生物呼吸、落葉層の分解の年間値は、落葉樹林でそれぞれ1255, 592, 452, 211 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、常緑樹林でそれぞれ1139, 386, 642, 111 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。各構成要素のサイト間差は有意ではなかったが、土壤呼吸に対する根呼吸の寄与は落葉樹林(47%)の方が常緑樹林(34%)よりも大きかった。細根バイオマスは夏季に増加したが、季節変化は落葉樹林で顕著であった。細根バイオマスの年平均値は、落葉樹林と常緑樹林でそれぞれ219, 264 g C m^{-2} であった。細根成長は、地温および根呼吸との間で有意な正の相関を示した。また、細根成長の年積算値は、落葉樹林と常緑樹林でそれぞれ184, 176 g C m^{-2} であった。隣接した落葉樹林と常緑樹林の中の同じプロットで、根呼吸と細根動態を同時に測定した結果、両サイトともに細根成長は温度と正の関係を示し、森林の光合成が活発となる夏季にピークを迎えることがわかった。また、細根成長と根呼吸の間には強い正の関係が認められ、両者の対応関係を示すことができた。

(4) 生態系の CO_2 収支

苫小牧サイトは、大規模攪乱によって CO_2 シンク(NEEの年間値は $-213 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$; Hirata et al., 2007)から CO_2 ソースに変化した。この変化は、主に生態系光合成(GPP)の減少による。無積雪期の積算NEEは徐々にゼロに近づいたが、2012年以降はわずかに正のままであった。このような経年変化はNPPの変化と類似しており、下層植生の変化と攪乱後に残置された粗大有機物の分解に依存する考えられる(Yamanoi et al., 2015)。

天塩サイトでは、若齢カラマツ林は攪乱後7年目から年収支で CO_2 吸収源に回復し、2013~2017年にかけての平均で年間 $1.8 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の炭素を吸収していた。森林伐採によって大気に正味放出された CO_2 量は、2010年には $15.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ にまで達したが、近年の CO_2 吸収によって、2017年末の時点で 11 Mg C ha^{-1} (71%)の回収が終わり、残り 4.4 Mg C ha^{-1} で完了する。このままの吸収傾向が続く場合、残り2~3年で到達する可能性が高い。

(5) ハイパースペクトル画像を利用した森林のGPP推定

生態系全体が対象となるようにLCTF画像の対象エリアを広範囲に設定した場合、光合成パラメータと正規化スペクトル指数の決定係数は、 A_{max} 、ともにNDSI[780, 710]が最大となり(それぞれ $r^2 = 0.68, 0.61$)、光合成パラメータの推定式($A_{\text{max, sim}} = 85.6 \text{ NDSI}[780, 710] - 1.28$, $\text{sim} = 0.132 \text{ NDSI}[780, 710] - 0.01$)が得られた。レッドエッジ波長(700~720 nm)における反射率の増加割合はクロロフィル濃度と高い相関があることが知られている。NDSI[780,

710]にはこのレッドエッジ波長が含まれているため、光合成パラメータと高い相関が得られたと考えられる。推定した光合成パラメータから計算したGPPとフラックス観測によって測定されたGPPを比較した結果、ほぼ1:1の関係になり、LCTFカメラ画像によって得られたNDSI [780, 710]を利用することによりGPPを高い精度で推定できることが明らかになった。

植物ごとの光合成能力のフェノロジーを評価するために、カラマツ、カンバ、ササを対象として選択し、植物ごとのNDSI [780, 710]のフェノロジーを比較した。結果として、展葉期(4~5月)、展葉後(6~7月)、落葉期(9~10月)に植物ごとのフェノロジーの違いが確認できた。融雪後(4月末~)と落葉期(9~10月)に常緑のササは他の植物よりも高い値を示したが、繁茂期(6~7月)には落葉広葉樹のカンバや落葉針葉樹のカラマツのほうが高い値を示す結果となった。

(6) エネルギー収支および蒸発散の変化

2004年の台風による風倒害およびその後の樹幹部の搬出により、カラマツ林の地上部バイオマスは97%減少したが、攪乱2年後(2006年)における無積雪期(4~11月の約7ヶ月間)における蒸発散(ET)および全天日射量で標準化された潜熱フラックス(LE/Rg)の積算値の減少は、24%に過ぎなかった。この24%の減少は、アルベドの上昇による全天日射量の純放射量への分配(Rn/Rg)の低下(17%)と、純放射量の潜熱フラックスへの分配(LE/Rn)の低下(9%)による。その後の草本と灌木を中心とした植生の回復により、蒸発散は徐々に増加し、攪乱後6年でほぼ攪乱前(カラマツ林)のレベルに回復した。

(7) 熱収支モデル

森林の攪乱による樹冠構造の変化は、森林内の放射伝達、乱流輸送、地表面の熱収支などの微気象環境の変化をもたらす、物理環境の変化という側面からも炭素動態に影響を及ぼす。攪乱に伴う樹冠構造の変化が森林微気象に及ぼす影響を定量的に再現するため、群落多層キャノピーモデルにおける放射伝達過程や乱流輸送過程のパラメタリゼーションを高度化した。また、攪乱の程度による地表面熱収支の変化を捉えるため、林床における積雪の再凍結や融解遅延が生じる夜間に着目し、立木密度の異なる多数の森林において積雪上の気象要素を観測した。その結果、積雪上の夜間気温は密林内の方が疎林内より系統的に高く、攪乱程度の少ない森林の方が高い保温効果を有することが示唆された。熱収支モデルによる解析から、積雪表面に入射する長波放射量が森林密度とともに増加することが、保温効果に最も大きく寄与することが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

Hirano T, Suzuki K and Hirata R, Energy balance and evapotranspiration changes in a larch forest caused by severe disturbance during an early secondary succession. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 457-468, 2017 (査読有) <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrfomet.2016.10.003>

Sun L, Teramoto M, Liang N, Yazaki T and Hirano T, Comparison of litter-bag and chamber methods for measuring CO₂ emissions from leaf litter decomposition in a temperate forest. *Journal of Agricultural Meteorology*, 73, 68-76, 2017 (査読有)

DOI: 10.2480/agrmet.D-16-00012

吉川慶・矢崎友嗣・井手玲子・栗原純一・小熊宏之・平野高司, ハイパースペクトル画像による植生情報の時空間変動解析. *北海道の農業気象*, 68, 11-20, 2017 (査読有)

Liang N, Teramoto M, Takagi K and Zeng Z, High-resolution data on the impact of warming on soil CO₂ efflux from an Asian monsoon forest. *Scientific Data*, 4, 170026, 2017 (査読有)

doi: 10.1038/sdata.2017.26

Yazaki T, Hirano T and Sano T, Biomass accumulation and net primary production during the early stage of secondary succession after a severe forest disturbance in northern Japan. *Forests*, 7, 1-16, 2016 (査読有)

doi:10.3390/f7110287

Takagi K, Yone Y, Takahashi H, Sakai R, Hojyo H, Kamiura T, Nomura M, Liang N L, Teramoto M, Liang N (他7名), Forest biomass and volume estimation using airborne LiDAR in a cool-temperate forest of northern Hokkaido. *Ecological Informatics*, 26, 54-60, 2016 (査読有) <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.01.005>

Takagi K, Hirata R, Ide R, Ueyama M, Ichii K, Saigusa N, Hirano T (他6名), Spatial and seasonal variations of CO₂ flux, and photosynthetic and respiratory parameters of larch forests in East Asia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 61-75, 2015 (査読有)

DOI:10.1080/00380768.2014.990349

Hirata R, Takagi K, Ito A, Hirano T and Saigusa N, *Biogeosciences*, 11, 5139-5154, 2014 (査読有)

<https://www.biogeosciences.net/11/5139/2014/>

東健太・平野高司・寺本宗正・梁乃申, 植生遷移が進む森林跡地のCO₂フラックスに与える環境要因の影響. *北海道の農業気象*,

65, 23-31, 2013 (査読有)

鈴木啓司・平田竜一・平野高司, カラマツ林の蒸発散とエネルギー収支. 北海道の農業気象, 65, 32-41, 2013 (査読有)

[学会発表](計 40 件)

吉川慶・高木健太郎・矢崎友嗣・平野高司 (他 4 名), ハイパースペクトル画像を利用した森林の GPP 推定, 日本リモートセンシング学会第 63 回学術講演会, 2017 年 11 月 21 日, 江別市

矢崎友嗣・鎌倉以直・孫力飛・平野高司・寺本宗正・梁乃申, 異なる攪乱履歴を有する森林における土壌呼吸量, 日本地球惑星学連合 2017 年大会, 2017 年 5 月 25 日, 千葉市

平野高司, 大規模攪乱後の植生遷移初期における CO₂ フラックスの変化, 日本地球惑星学連合 2016 年大会, 2016 年 5 月 25 日, 千葉市

吉川慶・矢崎友嗣・井手玲子・栗原純一・平野高司, ハイパースペクトルカメラを用いた森林跡地におけるクロロフィル指標の時空間変動解析, 日本農業気象学会 2016 年全国大会, 2016 年 3 月 15 日, 岡山市

矢崎友嗣・平野高司・佐野智仁・梁乃申 (他 3 名), チャンバー法及び生物量調査による攪乱後の森林における炭素動態の評価, 日本農業気象学会 2015 年全国大会, 2015 年 3 月 16 日, つくば市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 高司 (HIRANO, Takashi)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 2 0 2 0 8 8 3 8

(2) 研究分担者

梁 乃申 (LIANG, Naishen)
国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 5 0 3 9 1 1 7 3

高木健太郎 (TAKAGI, Kentaro)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授
研究者番号: 2 0 3 2 2 8 4 4

渡辺 力 (WATANABE, Tsutomu)
北海道大学・低温科学研究所・教授
研究者番号: 6 0 3 5 3 9 1 8

(3) 研究協力者

井手玲子 (IDE, Reiko)