

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 3 0 年 6 月 2 6 日現在

機関番号 : 1 3 6 0 1

研究種目 : 基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間 : 2014 ~ 2017

課題番号 : 2 6 3 0 4 0 2 6

研究課題名 (和文) 気候変動下での永久凍土地帯に生育する樹木の地下部および地上部成長制限要因の変化

研究課題名 (英文) Changes in growth limiting factors of above- and below ground part of trees growing on permafrost due to climate change

研究代表者

安江 恒 (Yasue, Koh)

信州大学・学術研究院農学系・准教授

研究者番号 : 0 0 3 2 4 2 3 6

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 12,900,000 円

研究成果の概要 (和文) : 周極域各地の永久凍土および非永久凍土上に生育するブラックスプリース、カマツ、ゴヨウマツの地上部および地下部を対象とし、年輪気候学的手法、器官量の観測、光合成から器官形成に至る物質のトレーシング調査を行い、各地における成長制限要因をあきらかにした。永久凍土地域に成立する森林の肥大成長や炭素循環は地下部の低温に起因する根の機能や成長の制限、低い分解速度に加えて、凍結を維持することによる春期の乾燥ストレスや冠水ストレスの影響を受けていることが明らかになった。これらの影響の出現の仕方は、生育地の気候条件や常緑・落葉の別に代表される樹種の違いによって非常に大きく異なることが示唆された。

研究成果の概要 (英文) : The growth limiting factors of above- and below ground part of *Picea mariana*, *Larix sibirica* and *Pinus sibirica* trees growing on permafrost and non-permafrost in various site in circumpolar regions were investigated. We utilized dendrochronological techniques, growth patterns of trunk, branch and root observation and stable isotope labeling techniques. The tree growth and carbon balance of forests on permafrost were mainly regulated by low temperature underground which limit the growth and functions of roots. In addition, frozen ground in spring season cause water deficit stress or flooding stress in some sites. The way of influence varies depending on climate and geological conditions as well as tree species.

研究分野 : 木質科学

キーワード : 気候変動 年輪年代学 周極域 永久凍土 土壌呼吸 アロメトリー 気候応答 同位体ラベリング

1. 研究開始当初の背景

亜寒帯林は森林生態系全体の約 5 割の炭素を蓄積しているため、気候システムに大きな影響を与えうる。加えて、高緯度地帯では非常に大きな気温上昇が予測されているため、亜寒帯林の成長、炭素循環変化を理解することは非常に重要である。特に、永久凍土地帯に成立する森林は、ユーラシア大陸北東部のカラマツ林を中心として亜寒帯林のなかでも大きな割合を占める。これらの森林の特徴として、夏季に凍土の溶ける活動層の浅さに大きく特徴付けられ、今後予想される気温上昇によって永久凍土の融解深が変化した場合に、樹木成長にどのような変化が起きるのかを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、将来予測される気候変動下での周極域に生育する針葉樹の成長変化プロセスの解明を目的とする。永久凍土および非永久凍土上それぞれに生育する落葉針葉樹であるカラマツ(*Larix gmelinii*)および常緑針葉樹であるブラックスプルース(*Picea mariana*)、ゴヨウマツ(*Pinus sibirica*)を対象とし、年輪気候学的手法、器官量の観測、光合成から器官形成に至る物質のトレーシング調査を行う事により、地上部と地下部への成長制限要因を明らかにする。

3. 研究の方法

永久凍土上に生育する常緑針葉樹としてアラスカ州内陸部に位置する Caribou Poker Creek Research Watershed のブラックスプルース林(以下、アラスカ)、非永久凍土上に生育する常緑針葉樹としてカナダウッドバッファロー国立公園のブラックスプルース林(以下、カナダ)、永久凍土分布南限近くの永久凍土上に成立するモンゴル国立大学ウドレグ演習林のカラマツ林(以下、モンゴル)に調査地を設定した(図 1)。

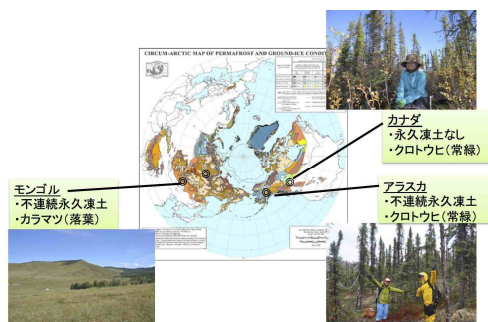


図 1 : 調査地の位置と特長

(1) 年輪年代学的気候応答解析

アラスカにおいては、凍土融解深の深い斜面上部と浅い斜面下部においてブラックスプルース各 30 個体を選択し(図 2)、地上部および地下部より年輪コア試料を採取した。年輪幅と年輪内密度についてクロノロジー構築し、日最高、最低気温の月平均、月降水

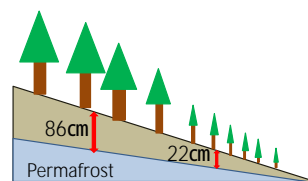


図 2 : アラスカにおける調査地断面と個体サイズの模式図(凍土融解深は 2016.7.24 調査)

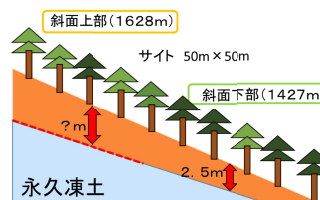


図 3 : モンゴルにおける調査地断面概略(凍土融解深は 2016.8.24 調査)

量との単相関を算出した(以下、気候応答解析)。

永久凍土分布南限に近いモンゴルでは、モンゴル国立大学ウドレグ演習林において、北向き斜面の凍土深が異なる上部および下部において(図 3)各プロットにつきカラマツおよびゴヨウマツ各 20 個体以上を対象に地上部および地下部の年輪試料を採取した。計 107 個体の年輪幅および年輪内密度値を測定し、地点を代表する時系列であるクロノロジーを構築して気候応答解析を行った。

(2) 地上部及び地下部の器官形成と変動要因

アラスカにおいて、クロトウヒ 44 個体を対象に、3, 4 本の枝を採取した。年枝長を遡って計測した。幹の肥大成長と枝の伸長成長について、それぞれクロスデイトイングと標準化を行い、クロノロジーを作成し気候応答解析を行った。

ブラックスプルースの地下部の発達過程をあきらかにするため、アラスカでは凍土深の異なる斜面上部、中部、下部において、カナダでは樹齢の異なる 2 つの林分(約 65 年生、約 160 年生)において各 5 個体を対象に根株を掘りとり側根の発根位置と年輪数を測定



図 4 : ブラックスプルースの側根の発生位置と年輪数の測定

すると共に樹幹解析を行った(図 4)。

モンゴルではシュートレベル、枝レベル、樹冠レベルでのシベリアカラマツの樹冠可塑性をあきらかにするため、疎開した林分から大、中、小の 3 個体を選定した。ローブアクセスおよび枝の採取により、枝の着生位置

と枝基部直径、枝長を計測した。また 2016 年に発生したマイマイガの食害の影響を評価するため、40 m 方形区を設定し、毎木調査と年輪コア採取を行った。方形調査区の近くからサイズの異なるカラマツ個体を選定し、全ての枝の着生高と基部直径を計測した。2016 年および 2017 年それぞれにおいて、枝をサンプリングし、葉を食されたシュートと健全なシュートの数をカウントした。また、健全なシュートについてシュートあたり葉面積を計測し枝の被害率を求めた。枝の基部直径と枝の被害率の関係に基づき、個体全体の被害率を算定した。個体の被害率と DBH の関係に基づき、林分レベルでの被害率を算定した。

(3) ^{13}C パルスラベリングによる光合成産物の転流解析

アラスカにおいて、土壌の融解がまだすすんでいない春期(2016 年 5 月)、気温も土壌温度も高い夏期(2015 年 7 月)、気温は春期と同程度であるが土壌はまだ凍っていない



図 5: $^{13}\text{C}_2$ ラベリング チャンバーにて樹冠を覆い(左図) 99.9% $^{13}\text{CO}_2$ を注入(右図)

秋期(2017 年 9 月)にラベリングを行なった(図 5)。各回において、ラベリング対象木を 3 本ずつ選定し、その周囲にグリッドを設定し、土壌呼吸測定用のソイルコアを各 16 個設置した。また根呼吸を対象としたコアも各木 3 つずつ設置した。ラベリング前日およびラベリング後おおそ 1,2,4,7 日後に土壌ガスを採取した。各測定地点で時間を置いて 2 回採取し、その炭素同位体比を測定し、 δ 値と濃度の逆数をプロット(keeling plot)することによって土壌由来の二酸化炭素の同位体比を算出した。これを面的に実施し、根呼吸由来の同位体比を合わせて測定することで、ミキシングモデルから、土壌呼吸における根呼吸の割合を面的に評価した。供試木について、2016 年 9 月及び 2017 年 9 月に伐採し、樹幹中部、樹幹基部、水平根基部の円盤を採取した。木部からロータリーミクロトームにて 2 mm×2 mm×25 μm の板目面連続切片を切削した。切片を 2 つに分け、一方を α -アミラーゼ、熱水、トルエン、エタノールを用いて抽出処理した。それぞれの切片について、質量分析計を用いて炭素同位体比を測定した。

4. 研究成果

(1) 年輪年代学的気候応答解析

アラスカ内陸部においては、斜面位置にかかわらず当年春の気温が年輪幅については

	Trunk or Root	Sites	Previous growth												Current growth											
			Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
Ring width	Trunk	Upper slope																								
		Lower slope																								
		Root																								
Ring density	Trunk	Upper slope																								
		Lower slope																								
		Root																								

Fig. Correlation between tree-ring parameters and monthly mean maximum temperature. ++, +: positive correlation, significant at $p < 0.01$ and 0.05, respectively. --, -: negative correlation, significant at $p < 0.01$ and 0.05, respectively.

図 6: ブラックスピルスの幹および根の年輪幅、年輪内平均密度の気候応答

負に、年輪内密度については正に寄与していた(図 6)。また、幹の年輪幅は根よりも長い期間の春の月平均最高気温と相関を示した。この結果は、春期の水ストレスがブラックスピルスの成長の大きな制限要因であることを示唆する。土壌が凍結しているにもかかわらず気温が上昇することで水ストレスが生じ、地上部の成長が制限されるが、成長期間が遅い地下部への影響が相対的に小さいと考えられる。春の気温の影響が地上部より地下部に対して大きいカナダの非永久凍土地帯におけるブラックスピルスとは全く異なる反応で有ることが明らかになった。

モンゴルにおいては、カラマツ、ゴヨウマツの両樹種において共通して前年春の降水量の増加が最も主要な成長制限要因であり、その影響は斜面下部で顕著であった(図 7)。併せて、乾燥地域であるにもかかわらず夏の降水との相関もほとんど認められなかった。従来、乾燥ストレスが卓越することが多く報告されていたモンゴルにおいて雪解け

カラマツ		前年												当年											
月平均気温		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
斜面 上部	幹																								
	根																								
斜面 下部	幹																								
	根																								
月降水量		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
斜面 上部	幹																								
	根																								
斜面 下部	幹																								
	根																								

ゴヨウマツ		前年												当年											
月平均気温		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
斜面 上部	幹																								
	根																								
斜面 下部	幹																								
	根																								
月降水量		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
斜面 上部	幹																								
	根																								
斜面 下部	幹																								
	根																								

図 7: カラマツおよびゴヨウマツの幹および根の年輪幅の気候応答

期の過湿ストレスや降水が制限要因となっている場所もあることが示唆された。

(2) 地上部及び地下部の器官形成と変動要因

ブラックスピルスの枝の伸長成長と幹の肥大成長のクロノロジーの間に相関関係

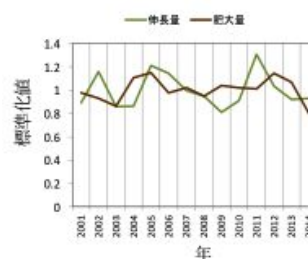


図 8: ブラックスピルスの枝の伸長および肥大成長クロノロジー

は認められなかった（図 8）。伸長成長は前年 8 月の降水量と負の相関を示した。前年の気候要因が冬芽形成を通じて当年の伸長量を規定するというプロセスが想定され、肥大成長とは独立していることが示唆された。

地下部の発達過程を復元した結果、アラスカでは下部ほど近年の成長量が少なく、年輪幅はある時期を境に急激に狭くなった。また、側根の発生位置は年代を追って上昇していた。地下部の肥大成長速度や側根の発生位置は有機物層の発達（コケの成長）に伴う地温の低下に規定されることが示唆された（図 9）。一方、非永久凍土地域であるカナダにおいては、側根の発生位置は年代を追って上昇していたが、地下部の肥大成長速度に急激な低下は認められず、永久凍土地域と違って地温の低下による成長制限が生じていないことが示唆された。

モンゴルにおいて、より小さな個体は一次枝が少なく樹冠が疎であること、疎な樹冠に

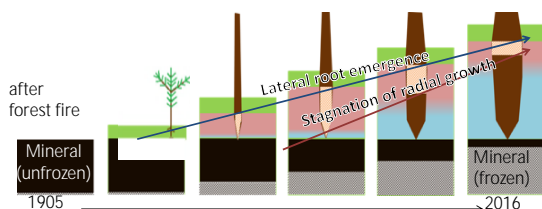


図 9：山火事更新後の地下部発達過程

おいては密な樹冠を持つ大きな個体と同じ枝アロメトリーを示さず、短枝よりも長枝を多く形成し、フレームワークを枝の内部に構築する傾向があった。一つの補償的適応とみなせる。また、マイマイガ（*Lymantria disparasiatica*）の食害の程度を、春先に作られたシュート数と食害を受けたシュート数の被率を用いて評価できた。食害の程度にサイズ依存性が確認でき（図 10、11、表 1）、選択的に小さなサイズの個体の衰退を促進

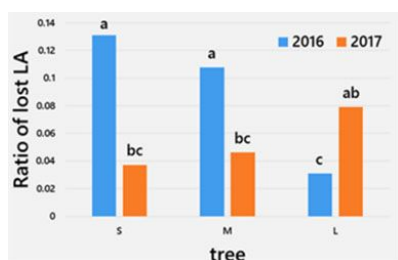


図 10：カラマツにおける枝レベルの食害率

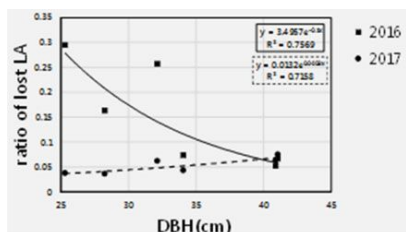


図 11：カラマツにおける DBH と個体レベルの食害率の関係

させ、疎開した林分構造を形成させる要因と考えられる。これらの結果は、モンゴルにお

表 1：枝レベルの食害率に対する個体サイズ、枝の葉量、枝下高の影響

	2016			2017		
	coefficient	P	95% confidence interval	coefficient	P	95% confidence interval
Intercept	17.57	<0.01 **	7.96 27.18	1.48	0.83	-11.60 14.55
DBH	-0.10	<0.01 **	-0.14 -0.05	0.05	<0.05 *	0.01 0.10
log (original LA)	-1.92	<0.05 *	-2.28 -0.57	-0.75	0.38	-2.36 0.86
Hb	-0.25	<0.001 ***	-0.35 -0.14	-0.09	0.24	-0.23 0.05

いては虫害の大発生が樹冠および林分構造に深く関わっていることを示している。

（3） ^{13}C パルスラベリングによる光合成産物の転流解析

春期のラベリングでは、樹木の根への炭素移動のピークが 6 日目ごろに現れた。一方で夏期に行なったラベリングでは、4 日目に、秋期では 4 日後に現れるものと測定期間である 8 日目でもまだピークに達しない個体もみられた。土壌呼吸に占める独立栄養呼吸の割合は、どの時期も樹木に近いほど高い傾向を示し、春期は一点を除き 0 - 10%，夏期は一点を除き 0 - 60%，秋期は 0 - 20%の範囲となった（図 12）。光合成産物が夏期には他の季節よりも早く地下部へと移動していることや、春期は光合成は開始されるものの、地下部根系への炭素配分は少なく、一方で秋期には比較的地下部根系へ炭素を配分してい

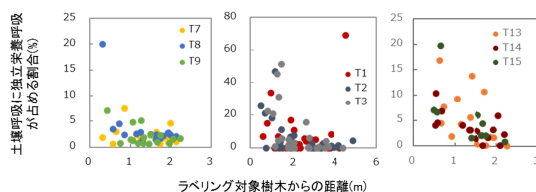


図 12：アラスカブラックスプリース林における土壌呼吸に独立栄養呼吸が占める割合

ることが示された。

肥大成長への炭素配分を測定した所、5 月の光合成産物は、当年の年輪形成を通して利用され、翌年の年輪形成にも利用されていた。7 月の光合成産物は、樹幹部では当年の晩材形成晩期と翌年の早材形成初期に利用され、根では主に当年の晩材形成に利用されていた。9 月の光合成産物は、当年の年輪ではほとんど利用されず、翌年の年輪形成期間を通

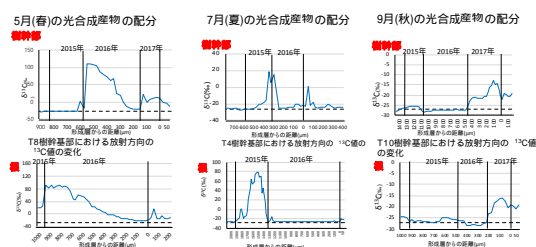


図 13：ラベリングした ^{13}C の樹幹内放射方向分布

じて利用されていた（図 13）。このことは、光合成産物の地上部および地下部への配分が季節によって異なることを示し、土壌呼吸

ガス採取の結果と整合的である。また、貯蔵して翌年以降の肥大成長に利用していることを示唆している。永久凍土上に生育する樹木では地下部の条件や樹木のフェノロジーによって、樹木や土壌への炭素配分が変化することが明らかになった。

(4) 総合考察

常緑針葉樹であるブラックスプルースが永久凍土上に成立するアラスカでは、山火事後の有機物層の発達とそれに伴う地下の低温下が地下部の発達や土壌呼吸の大きな制限要因となっていることが明らかになった。肥大成長の年々変動は春期の気温の負の影響を受けていることが明らかとなり、土壌凍結期の気温上昇が水ストレスを引き起こしている可能性が大きい。このような反応は、シベリアに生育する落葉樹であるカラマツや非永久凍土に生育するブラックスプルースには認められない反応であり、永久凍土上に成立する常緑樹に特有の反応と考えられる。温暖化の進行は、地下部の低温ストレスを緩和する可能性がある一方で春期の水ストレスを促進する可能性がある。

永久凍土分布南限のモンゴルに生育する落葉針葉樹であるカラマツと常緑針葉樹であるゴヨウマツの肥大成長に対して、春期の降水が負に寄与していることが明らかになり、冠水ストレスの存在が示唆された。従来、乾燥ストレスが卓越することが多く報告されていたモンゴルにおいて、地下の永久凍土の状態によって降水への応答が大きく異なることが示された。加えて、モンゴルのカラマツでは食害性昆虫の大発生の影響が樹冠構造や林分構造に大きく影響を及ぼしていることも明らかになった。従って、気候変動の影響評価のためには、地下部の温度および水収支を評価する必要があると共に、虫害の発生予測の必要性も指摘される。

永久凍土地域に成立する森林の肥大成長や炭素循環に与える永久凍土の影響は、正の寄与として、低い水浸透性が水の保持に貢献していることが挙げられる。一方、負の寄与として、低温をもたらすことによる根の機能や成長の制限、低い分解速度が挙げられる。加えて、凍結を維持することによる春期の乾燥ストレスや冠水ストレスが挙げられる。これらの影響の出現の仕方は、生育地の気候条件や常緑・落葉の別に代表される樹種の違いによって大きく異なることが示唆される。

今後の温暖化の影響などで永久凍土の状態が変化する場合に、森林によってその反応過程が大きく異なるため、影響予測に当たっては多面的な環境指標や樹種構成を配慮する必要があることが明らかになった。今後も様々な地域において調査を実施し、多様性を踏まえた上での評価が求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1) 檀浦正子, 種子田春彦, 小林剛 (2016) 炭

素安定同位体パルスラベリングを用いて樹木の師液流を測定する, 日本生態学会誌 66: 501-503. DOI: 10.18960/seitai. 66.2_501 (査読有)

- 2) 田邊智子, 城田徹央, 齋藤大, 安江恒, Baatarbileg Nachin (2015) モンゴル北部のカラマツ成熟林における劣勢木のアロメトリー特性, 信州大学農学部 AFC 報告 13:107-112. ISSN 1348-7892 (査読有)
- 3) 大山可將, 城田徹央, 安江恒, 岡野哲郎 (2015) 枝表面積測定を目的としたスキャナーと LED ライトボックスを用いた小型円筒体の表面積測定の正確性の検討, 信州大学農学部 AFC 報告 13: 53-58. ISSN 1348-7892 (査読有)
- 4) Daniel S. Falster, Masako Dannoura et al. (2015) BAAD: a biomass and allometry database for woody plants, Ecology 95: 1445. DOI: 10.1890/14-1889.1 (査読有)

〔学会発表〕(計 23 件)

- 1) S. Otake, T. Morishita, Y. Matsuura, K. Noguchi, T. Shirota, R. Ruess, J. Hollingsworth, K. Yasue. Change over time in development of root stocks of black spruce growing at upper and lower slopes in interior Alaska. 5th International Symposium on Arctic Research. 2018 年
- 2) T. Saito, M. Dannoura, A. Kagawa, K. Noguchi, R. Ruess, J. Hokkunsuworth, K. Yasue. Seasonal variation of photoassimilate allocation in xylem of black spruce in interior Alaska. 5th International Symposium on Arctic Research. 2018 年
- 3) K. Yasue, K. Fukushima, Y. Matsuura, K. Shichi, T. Shirota, N. Baatarbileg. Climate responses of radial growth of *Larix sibirica* and *Pinus sibirica* growing in Mongolian permafrost. 5th International Symposium on Arctic Research. 2018 年
- 4) S. Okaniwa, T. Shirota, K. Inoue, Y. Fujioka, T. Tanabe, K. Yasue, T. Okano, N. Baatarbileg, B. Oyunsanaa. The annual change of defoliation intensity by *Lymantria dispar* and its size dependency of *Larix sibirica* in Mongolia. 5th International Symposium on Arctic Research. 2018 年
- 5) T. Shirota, K. Yasue, S. Otake, T. Saito, T. Tanabe, M. Dannoura, Y. Matsuura, K. Noguchi, T. Morishita, R. Ruess, J. Hollingsworth. Underground competition may be occurred among *Picea mariana* trees in central Alaska. 5th International Symposium on Arctic Research. 2018 年
- 6) 城田徹央, 岡庭伸平, 田邊智子, 井上国篤, 藤岡薫子, 安江恒, Baatarbileg, Nachin, Oyunsanaa, Byambasureg. モンゴル北部カラマツ林におけるマイマイガ被害. 第 65 回日本生態学会大会. 2018 年
- 7) 齋藤智寛, 檀浦正子, 香川 聡, 野口享太郎, Roger Ruess, Jamie Hollingsworth, 安

- 江 恒. ブラックスプリースの肥大成長への光合成産物配分の季節変動 当年及び翌年の年輪形成への利用 . 第 68 回日本木材学会大会. 2018 年
- 8) 大嶽聡子, 城田徹央, 安江 恒, 森下智陽, 松浦陽次郎, 野口享太郎, 大澤 晃. 永久凍土. 非永久凍土地帯に生育するブラックスプリースの根の肥大成長と側根発生深度の経時変化. 第 68 回日本木材学会大会. 2018 年
 - 9) Dannoura M., Tsuji S., Desalme D., Priault P., Plain C., Epron D. Differences in phloem anatomy alters its function under drought stress. IUFRO 125th Anniversary Congress 2017. 2017 年
 - 10) 檀浦正子 ¹³C ラベリングによる光合成生産物の樹幹内転流の把握 「樹木年輪」研究会. 組織と材質研究会合同シンポジウム(招待講演) 2017 年
 - 11) 福嶋航希, 松浦陽次郎, 志知幸治, Baatarbileg Nachin, 安江 恒. モンゴル永久凍土地域に生育するカラマツ(*Larix sibirica*), ゴヨウマツ(*Pinus sibirica*)の幹, 根の肥大成長の気候応答. 第 67 回日本木材学会大会. 2017 年
 - 12) 齋藤智寛, 檀浦正子, 香川 聡, 野口享太郎, Roger Ruess, Jamie Hollingsworth, 安江 恒. アラスカ内陸部に生育するブラックスプリースにおける肥大成長への光合成産物配分の季節変動. 第 67 回日本木材学会大会. 2017 年
 - 13) 大嶽聡子, 森下智陽, 松浦陽次郎, 野口享太郎, 城田徹央, 安江 恒. アラスカ内陸部に生育するブラックスプリースの根の肥大成長と側根発生の経時変化. 第 67 回日本木材学会大会. 2017 年
 - 14) Dannoura Masako, Yasue Koh, Takahashi, Kenshi, Morishita, Tomoaki, Saito, Tomohiro, Yoshikawa, Akira, Yamamoto, Ryohei, Matsuura, Yojiro, Hossann, Christian, Ruess, Roger. Partitioning source of soil CO₂ efflux using ¹³C labeling method on permafrost black spruce stands in interior Alaska. 第 64 回日本生態学会. 2017 年
 - 15) 檀浦正子, 高橋 けんし, 安江 恒. 炭素安定同位体パルスラベリングを用いた, アラスカ永久凍土地帯における森林土壌呼吸 における樹木由来の CO₂ 放出量の推定 -季節変化に着目して-第 335 回生存圏シンポジウム「ミッションシンポジウム」2017 年
 - 16) 田邊智子, 城田徹央, 兼松真里衣, 安江 恒, 野口享太郎, 岡野哲郎. アラスカ内陸部に成育するクロトウヒ一次枝伸長量の気候応答. 第 128 回日本森林学会. 2017 年
 - 17) Satoko Otake, Tomoaki Morishita, Yojiro Matsuura, Kyotaro Noguchi, Tetsuoh Shiota, Roger Rues, Jamie Hollingsworth, Koh Yasue. Changes in vertical and radial development of roots of black spruce growing in interior Alaska. 7th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants. 2017 年
 - 18) 兼松真里衣, 安江 恒, 平野 優, 野口享太郎, 松浦陽次郎. アラスカ内陸部永久凍土地帯に生育するブラックスプリース(*Picea mariana*)の幹と根の肥大成長の気候応答. 第 66 回日本木材学会大会. 2016 年
 - 19) SAITO, Dai., SHIROTA, Tetsuoh., TANABE, Tomoko., YASUE, Koh., NACHIN, Baatarbileg. Spatial patterns and inter-tree interaction in a mature *Larix sibirica* stand at the northern ecotone Mongolia. 4th International Symposium on the Arctic Research 2015. 2015 年
 - 20) SHIROTA, Tetsuoh., YASUE, Koh, OSAWA, Akira. An importance of branch-branch interaction within crown of open grown black spruce in central Alaska. 4th International Symposium on the Arctic Research 2015. 2015 年
 - 21) Masako Dannoura, Miyuki Takeuchi, Yuji Kominami, Satoru Takanashi, Kenichi Yoshimura, Mioko Ataka. Tracing photosynthetic carbon in leaves with nano-SIMS after ¹³CO₂ labelling. European Geosciences Union General Assembly 2015. 2015 年
 - 22) Dannoura M., Yasue Koh, Shiota T., Noguchi K., Matsuura Y., CARBON ALLOCATION FROM CROWN TO THE ROOT; What we found from pulse labeling experiments and research plan in Alaska, 2015 BNZ-LTER Symposium. 2015 年
 - 23) Dannoura M., Bosc A., Cepeaux C., Kominami K., Takanashi S., Takahashi K., Nakano T., Cabral O., Nouvellon Y., Epron D. Carbon Allocation to the Root- what we found from pulse labelling experiments. 6th International Symposium on Physiological Process in Roots of Woody Plants. 2014 年
6. 研究組織
- (1)研究代表者
安江 恒 (YASUE KOH)
信州大学・学術研究院農学系・准教授
研究者番号：00324236
 - (2)研究分担者
檀浦 正子 (DANNOURA MASAKO)
京都大学・地球環境学堂・助教
研究者番号：90444570
 - 城田 徹央 (SHIROTA TETSUOH)
信州大学・学術研究院農学系・助教
研究者番号：10374711