

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23255009

研究課題名(和文) 中国大興安嶺森林 - 湿原生態系における水・熱および炭素・物質動態と山火事攪乱の影響

研究課題名(英文) The influence of forest fire disturbance for the water, heat, carbon and mineral flux in north east China

研究代表者

佐藤 冬樹 (SATO, FUYUKI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：20187230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 24,500,000円

研究成果の概要(和文)：中国大興安嶺地区の山火事攪乱の影響を受けたカラマツ林 - 湿原生態系において、炭素および物質循環の観測をおこない、北海道のカラマツ林の結果と比較した。北海道の伐採跡地に植林したカラマツ林では伐採後10年で二酸化炭素の放出から吸収に転じたのに対し、大興安嶺では山火事後20年を経過してもカラマツ林の炭素・土壌養分蓄積量は山火事以前の状態には回復しなかった。

本研究より、中国東北部の永久凍土南限域では炭素を中心とする物質フローは森林の温暖化に対する緩衝機能を欠如したまま温暖化により変化し、湿原はより不安定化して分解が進み、二酸化炭素のみならずメタンを含めた温室効果ガスの放出を加速させると推定された。

研究成果の概要(英文)：The carbon and mineral fluxes in the larch-bog mire ecosystem in Greater Hinggan Mountains, northern China, were compared with those of the larch forests in Hokkaido, Japan. The carbon dioxide was absorbed in the larch forests of Hokkaido 10 years after the clearcutting and subsequent planting of larch seedlings. On the other hand, the carbon and the nutrient budget of larch forests in Great Hinggan Mountains, where forest fire took place 20 years ago, did not show clear recovery as observed in Hokkaido. From the results of this investigation, it is suggested that forest fire will change the carbon and mineral flux in southern limit of the permafrost area, Great Hinggan Mountains, without the buffer function of forest cover. The area of bog mire in this area is considered to decrease by the degradation of peat and underlying ground ice. The release of greenhouse gases, not only carbon dioxide but methane, from the mire will also accelerate such a process, the degradation of bog.

研究分野：森林機能学

キーワード：地球温暖化 炭素循環 大気汚染物質 森林 - 湿原生態系 樹木生理影響 中国 永久凍土南限 大興安嶺

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 中国東北部～ロシア・アムール州にかけてのアムール川流域は永久凍土地帯の南限地域にあたり、不連続的に凍土層の分布するエリアであり、わずかの環境変化がその地域の植生遷移や水・熱循環および物質循環に大きく影響する地域である。

(2) 一方、永久凍土南限域は凍土地帯の中では比較的人間活動の盛んな地域であり、森林の大規模伐採や山火事の多発、あるいは対流圏オゾンによる樹木生理の変質など人為的な攪乱による極端な森林の減少や劣化が進行している地域でもある。この地域における森林の大規模攪乱は、違法伐採の横行など政治・社会的な面もあわせ、人類が今だかつて経験したことのない規模とスピードで進行しており、森林破壊に関する実態把握と早急な対策が急務となっている。

(3) 中国・東北地方およびロシア・アムール州の永久凍土南限域カラマツ林については、実態把握も含めた学術調査がおこなわれた結果、山地流域では山火事や大規模伐採によるカラマツ林の破壊が進行しており、その跡地はカンバ類を主とする広葉樹二次林となり、土壌はステップ地域の代表的土壌であるチェルノーゼム (Mollisols) へ遷移しつつあることが明らかになった。また、中国大興安嶺地域には永久凍土上に広大な湿原が存在し炭素のシンクとなっているが、山火事などによる大規模森林攪乱により、湿原周囲および湿原上のカラマツ林が破壊され、湿原および地下部凍土層を不安定化し、この地域のCO<sub>2</sub>吸収源活動に多大な影響をおよぼしていることも推定された。この地域の降水量は800mm程度であり、湿原や周囲の森林は永久凍土層の融解水により涵養されている。しかし、大規模攪乱にともなう永久凍土の消失は流域生態系の乾燥化をもたらし、その結果カラマツ林の再生は困難となり、森林の持続性にも大きな影響をおよぼすことになる。

## 2. 研究の目的

中国大興安嶺地区における、永久凍土南限域に分布する森林(カラマツ林) - 湿原複合生態系を対象とし、北海道の攪乱を受けたカラマツ林における調査結果と比較することにより、以下のことを明らかにする。

(1) 山火事をはじめとする森林攪乱の程度に応じて調査地区を設定し、バイオマス量や土壌炭素蓄積量の把握、森林や湿原の推移過程の解析、流域生態系における水や炭素および物質動態の流域レベルでの把握。

(2) 北海道の攪乱を受けた森林(カラマツ人工林)や、開放型(大気-CO<sub>2</sub>・O<sub>3</sub>増加実験:FACE)における水・熱循環、および炭素・物質フローの変化に関する精密研究と比較す

ることにより、この地域に特徴的な人為的大規模攪乱による森林や湿原の安定性、さらには地球温暖化への影響の推定。

(3) カラマツ林の焼失形態と森林復活の形態、および湿原に広く分布する永久凍土や水分・物質動態への影響把握、この地域の炭素固定機能や水分・物質動態への緩衝機能に関する情報提供、空中CO<sub>2</sub>に対する森林や湿原の吸収源活動や森林生態系管理・生物多様性保全に関する基礎的情報の提供。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究の対象地である、中国の大興安嶺および小興安嶺地区のカラマツ林 - 湿原生態系に調査プロットを設け、カラマツ林および湿原の成長と推移の解析およびバイオマス量の把握、森林流域や湿原における水・熱収支、炭素・物質フロー、カラマツ林の焼失形態と森林復活の形態、および湿原に広く分布する永久凍土や水・熱・物質動態への影響把握を総合的に実施する。

(2) 中国の研究成果と北海道のフィールド(天塩研究林・苫小牧研究林)、およびFACE実験による地球温暖化や大気汚染物質と樹木生理による精密観測で実施している、皆伐や風倒による攪乱を受けたカラマツ林における炭素フローや物質循環研究の成果との比較により、温度変化や水分動態変化等の環境変化が、永久凍土南限域のカラマツ林湿原生態系に与える影響を推定する。

(3) 得られた結果をもとに、この地域の炭素固定機能や水分・物質動態への緩衝機能に関する情報提供、空中CO<sub>2</sub>の森林や湿原の吸収源活動や森林生態系管理・生物多様性保全に関する基礎的情報の提供をおこなう。

## 4. 研究成果

(1) 大興安嶺地区の山火事の影響を受けていない未攪乱土壌では有機態炭素は表層0～10cmに主に分布し(100gC/kg soil)、下層に向けて急速に減少する。土壌表層部1mまでの有機態炭素量は10～18kg/m<sup>2</sup>で、そのうち60～70%が0～10cmにある。土壌粒団密度分画によると、土壌粘土やシルトに吸着されていない易分解性炭素が40～60%(粘土に吸着されていて比較的分解されにくい画分が20%以下)であった。すなわち、大興安嶺地区の森林土壌は分解しやすく、地球環境変化の影響を受けやすいといえる。

(2) 大興安嶺地区では毎年大規模な山火事が発生しており、焼失面積は20年間にカラマツ林で4379.47 Km<sup>2</sup>、モンゴルマツ林で209.39 Km<sup>2</sup>、

シラカンバ林で1425.27 Km<sup>2</sup>、混交林で1685.31 Km<sup>2</sup>、モンゴリナラ林で13.75Km<sup>2</sup>、これにより焼失した森林バイオマスは合計7.31～11.5Tgでそのうちカラマツ林が61.8～62.3%、シラカンバ林が26.5～26.8%を占めている。炭素換算にすると大興安嶺地区では3.04～4.78Tgの炭素が20年間に大気に放出され、これは中国全土からの山火事による炭素放出量の7.5～11.8% (2/3がカラマツ林、1/4がシラカンバ林)に相当する。CO<sub>2</sub>としては26.00～29.3Tgが大気に放出されている(ただし、土壌からの炭素放出量が考慮されていない)。

(3)大興安嶺地区のカラマツ林における強度の異なる山火事跡地の土壌養分C,N,P,Kの状況について、山火事の影響を受けていない土壌と比較すると、表層土(0～10cm)および下層土(10～20cm)ともに、強度の攪乱を受けた土壌<中規模の攪乱を受けた土壌<弱度の影響を受けた土壌<山火事の影響を受けていない土壌の順に養分含量は増加し、土壌表層部に蓄積される炭素や窒素・リン・カリなどの養分量は山火事により失われてしまうことがわかった。特に炭素については山火事後20年経過しても表層土における炭素含量は攪乱を受けていない土壌の半分以下であり、一旦表層が攪乱を受けるとその影響は長期にわたって継続することを示していた。

(4)大興安嶺翁河地区のカラマツ林 - 湿原生態系でも多くのエリアで山火事によるカラマツ林の破壊が進み、その結果水・熱収支が変化して湿原の乾燥化や崩壊の進行する結果、大量のCO<sub>2</sub>が放出されていることが予想され、現地で観測をおこなっている中国側研究者との共同研究を進めることでより精密なデータの収集を進める必要がある。さらに、湿原崩壊により地下部の永久凍土も不安定化し、湿原地下部や凍土中に閉じ込められているCO<sub>2</sub>よりも25倍の温室効果温を持つとされるCH<sub>4</sub>(メタン)も急速に大気中に放出されていることも推定された。一方、中国では近年都市化・工業化の進行により温室効果の高い大気汚染物質である対流圏オゾン(O<sub>3</sub>)の影響も注目されている。対流圏オゾンはNO<sub>x</sub>などの窒素酸化物や揮発性の有機化合物(VOC)などと太陽光の紫外線が作用して生成される。中国側研究協力者の調査では大都市周辺において高濃度となり、周辺の森林に悪影響を与えることが確認されているが、中国東北部における都市化の進行により対流圏オゾンの影響は周辺地域に拡大すると予想されることから、森林劣化の進む大興安嶺では森林の健全性に及ぼすオゾンの問題も無視できないと考えられた。

(5)北海道大学天塩研究林のミズナラ・トドマツ・ダケカンバが優占する針広混交林において2003年1月から3月にかけて14haの皆伐を行った。2003年10月には刈幅4m、ササ残し幅4m

で筋刈りを行い、2年生カラマツを2505本 ha<sup>-1</sup>の密度(総数約3万本)で植林した。森林伐採後、2006年まで増加傾向にあった保残区ササの葉面積は、2007 - 2013年にかけて、ほぼ頭打ちとなった。2014年も前年度と変わらず、葉面積指数は季節最大値で6.0であった。植栽カラマツの葉面積指数は、2013～2014年にかけて季節最大値で1.6～1.7であった。1年間のリターフォール量は10～96 gDW m<sup>-2</sup>で、植林カラマツの成長に伴い増加する傾向にあった。

(6)森林を伐採した2003年に、北大観測サイトは大量のCO<sub>2</sub>を大気に放出したが、2003年から2009年にかけて年間の正味CO<sub>2</sub>放出量が急激に減少し、伐採後8年目の2010年にCO<sub>2</sub>の弱い吸収源となり、2010～2012年は同程度(約0.5 tC ha<sup>-1</sup>年<sup>-1</sup>)の正味CO<sub>2</sub>吸収量であった。2013～2014年は前年の3倍程度(1.5～1.8 tC ha<sup>-1</sup>年<sup>-1</sup>)の吸収量に増加した。2014年の生態系光合成量は年間14.87 tC ha<sup>-1</sup>、生態系呼吸量が13.07 tC ha<sup>-1</sup>で、生態系光合成量は伐採前の混交林を上回った。

(7)2003年の森林伐採後に、ササの筋刈りとカラマツの植栽を行った上記観測サイトに加えて、ササと表層土壌を全面剥いだ後にカラマツを植栽したプロット、及びササと表層土壌を全面剥ぎ、種子散布や埋土種子により森林を天然更新させたプロットにおいて、森林更新後11年目における樹木バイオマス量の調査を行い、伐採後の森林更新方法が樹木炭素貯留量に与える影響を明らかにした。天然更新地の樹木の炭素貯留量は8.41 ± 2.39 tC/haで、ササと表層土壌を剥ぎとったカラマツ植林地の樹木炭素貯留量(14.4 tC/ha)に比べて少なかったものの、ササを筋状に刈り払ったカラマツ植林地の樹木炭素貯留量(3.2 tC/ha)に比べ多かった。表層土壌とササを剥ぎとることによって、施業時に相当量の二酸化炭素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。

(8)メタンは大興安嶺に広く見られる湿原など嫌気性条件で活動するメタン酸化菌が生産する。北大FACE実験からは、2040年頃のレベルと想定される高CO<sub>2</sub>(500 ppm)に設定された林床におけるメタンの吸収量は、対照区(380～390 ppm)の半分程度になることが解った。さらに、土壌は不均質でもあるため、土壌のところどころにメタンを放出している場所がみられた。高CO<sub>2</sub>では植物は葉面の気孔を閉じ気味にするため、樹木からの蒸散が減る。また、上層木の葉が繁茂し林床へ届く光量も減るため地面からの蒸発も減少し、リターは湿気を帯びた状態になる。これらの変化によって林床が嫌気条件になることが原因の一つとして考えられた。さらに同じ土壌含水率でもFACEの方がメタン吸収は低下していた。これらのことから、今後CO<sub>2</sub>濃度が上昇し続け

ると強力な温室効果ガスであるメタンの森林からの放出量が増加すると考えられる。

(9)本研究の一環として「高CO<sub>2</sub>環境では気孔が閉鎖気味になって、O<sub>3</sub>の取り込みは抑制される」を検証する実験を進めた。成長の早い北東アジアの造林種ゲイマツ雑種F<sub>1</sub>を高CO<sub>2</sub>（600 ppm）とオゾン付加(60 ppb：日中7時間)で育成した。結果はオゾン単独処理で肥大成長が抑制されたが、高CO<sub>2</sub>によってO<sub>3</sub>による成長抑制量は緩和されたが、その量はオゾン単独処理値の約20%に留まった。しかし、夏期の気孔コンダクタンスには処理の明瞭な差がなく、CO<sub>2</sub>増加環境でのオゾン吸収量に注目する必要がある。

(10)上記の成果は、今まで情報のほとんど無い中国東北部の永久凍土南限域カラマツ林-湿原複合生態系の温暖化影響についてきわめて深刻な状況であることを示すものである。温暖化や山火事などの環境変化影響による森林の回復は非常に遅く、この地域の炭素フロン・物質フロンは森林による環境変化への緩衝機能を欠如したまま、湿原はより不安定化して温室効果ガスの放出を加速すると考えられる。より詳細なデータについては現地に設置したCO<sub>2</sub>モニタリングシステムを使って中国側研究者と共同観測を進めているが、比較対象地である北大天塩研究林で植栽したカラマツ林は約10年でCO<sub>2</sub>吸収に転じ、伐採前の状況に回復したが、大興安嶺地区では山火事後20年以上経過しても、土壤養分量も含め以前の状態に戻ることは期待できないためカラマツ林のより慎重な管理が望まれる。

(11)北大FACE実験における成果は、永久凍土南限域におけるCO<sub>2</sub>の森林吸収源活動や持続的森林管理のあり方について新たな観点を付け加えた。高CO<sub>2</sub>環境下では森林はメタンの放出源となる可能性が示されたが、大興安嶺地区では山火事によりメタンの吸収源となる森林の落葉層が薄いため、メタンの吸収能力は弱く現在でもメタンのシンクとして機能していないことが推定される。それとともに湿原の乾燥や永久凍土の融解が進むことにより、この地域ではCO<sub>2</sub>とともにメタンの動態についても地球温暖化との関連で明らかにする必要があったと考えられた。また、この地域では山火事跡の荒廃地復元にカラマツやショウジマツの植林が進められているが、その生長については土壤養分状況（山火事の影響により貧栄養環境になっている）に加えて大気汚染物質の影響も検討する必要がある。高CO<sub>2</sub>環境下における対流圏オゾンの樹木成長への影響についての研究は将来的なこの地域の森林の維持管理や環境影響への評価をおこなううえで重要であり、フィールドレベルの観測結果とリンクさせるためにも不可欠である。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 44 件)

Takagi K, Yone Y, Takahashi H, Sakai R, Hojyo H, Kamiura T, Nomura M, Liang N, Fukazawa T, Miya H, Yoshida T, Sasa K, Fujinuma Y, Murayama T and Oguma H, (2015) Forest biomass and volume estimation using airborne LiDAR in a cool-temperate forest of northern Hokkaido. *Ecological Informatics*, 査読有, 26, 54-60.

Takagi K, Hirata R, Ide R, Ueyama M, Ichii K, Saigusa N, Hirano T, Asanuma J, Li S-G, Machimura T, Nakai Y, Ohta T and Takahashi Y, (2015) Spatial and seasonal variations of CO<sub>2</sub> flux and photosynthetic and respiratory parameters of larch forests in East Asia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 査読有, 61, 61-75.

Fukuzawa K., Shibata H. Takagi K, Koike T, Satoh F. and Sasa K. (2015) Role of dominant understory Sasa bamboo in carbon and nitrogen dynamics, *Plant Species Biology*, 査読有, 30, 104-115

Tsunogai U, Komatsu D, Ohyama T, Suzuki A, Nakagawa F, Noguchi I, Takagi K, Nomura M, Fukuzawa K and Shibata H, (2014) Quantifying the effects of clear-cutting and strip-cutting on nitrate dynamics in a forested watershed using triple oxygen isotopes as tracers. *Biogeosciences*, 査読有, 11, 5411-5424.

Hirata R, Takagi K, Ito A, Hirano T and Saigusa N, (2014) The impact of climate variation and disturbance on the carbon balance of forests in Hokkaido, Japan. *Biogeoscience*, 査読有, 11, 5139-5154.

Aguilos M, Takagi K, Liang N, Ueyama M, Fukuzawa K, Nomura M, Kishida O, Fukazawa T, Takahashi H, Kotsuka C, Sakai R, Ito K, Watanabe Y, Fujinuma Y, Takahashi Y, Murayama T, Saigusa N and Sasa K, (2014) Dynamics of ecosystem carbon balance recovering from a clear-cutting in a cool-temperate forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 査読有, 197, 26-39.

Mao QZ, Watanabe M, Makoto K, Kita K and Koike T (2014) High nitrogen deposition may enhance growth of the new hybrid larch F<sub>1</sub> growing at two phosphorus

levels. Landscape and Ecological Engineering, 査読有, 10, 1-8.

Hirata, R., Takagi, K., Ito, A., Hirano, T., and Saigusa, N. (2014) The impact of climate variation and disturbance on the carbon balance of forests in Hokkaido, Japan. Biogeosciences discussion, 査読有, 11, 2847-2885.

Watanabe, M., Hoshika, Y., Inada, N. and Koike, T. (2014) Canopy carbon budget of Siebold's beech (*Fagus crenata*) saplings exposed to ozone. Environmental Pollution, 査読有, 184: 682-689.

Watanabe, M., Mao, Q., Novriyanti, E., Kita, K., Takagi, K., Satoh, F. and Koike, T. (2013) Elevated CO<sub>2</sub> enhances the growth of hybrid larch F1 (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) seedlings and changes its biomass allocation. Trees, 査読有, 27, 1647-1655.

Aguilos, M., Takagi, K., Liang, N., Watanabe, Y., Teramoto, M., Goto, S., Takahashi, Y., Mukai, H., and Sasa, K. (2013) Sustained large stimulation of soil heterotrophic respiration rate and its temperature sensitivity by soil warming in a cool-temperate forested peatland. Tellus B, 査読有, 65, 20792, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v65i0.20792>.

Aguilos, M.M., Takagi, K., Takahashi, H., Hasegawa, J., Ashiya, D., Kotsuka, C., Naniwa, A., Sakai, R., Ito, A., Miyoshi, C., Nomura, M., Uemura, S. and Sasa, K. (2012) Enhanced annual litterfall production due to spring radiation in cool-temperate mixed forests of northern Hokkaido, Japan. Journal of Agricultural Meteorology, 査読有, 68, 195-204.

Okada, K., Okada, N., Takagi, K., Urano, S., Nishida, Y., Aguilos, M. and Kobayashi, T. (2012) CO<sub>2</sub> flux estimation for a valley terrain using the atmospheric boundary layer method. Journal of Agricultural Meteorology, 査読有, 68, 165-174.

Watanabe M., Ryu, K., Kita, K., Takagi, K. and Koike, T. (2012) Effect of nitrogen load on growth and photosynthesis of seedlings of the hybrid larch F<sub>1</sub> (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. Kaempferi*) grown on

serpentine soil. Environmental and Experimental Botany, 査読有, 83, 73-81.

Mao, Q., Watanabe, M., Imori, M., Kim, Y.S., Kita, K. and Koike, T., (2012) Photosynthesis and nitrogen allocation in needles in the sun and shade crowns of hybrid larch saplings: effect of nitrogen application. Photosynthetica, 査読有, 50, 422-428. Abstract

Watanabe, M., Ryu, K., Kita, K., Takagi, K. and Koike, T. (2012) Effects of nitrogen load on the growth and photosynthesis of hybrid larch F1 (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) grown on serpentine soil. Environmental and Experimental Botany, 査読有, 83, 73-81.

Koike, T., Mao, Q., Inada, N., Kawaguchi, K., Hoshika, Y. Kita, K. and Watanabe, M. (2012) Growth and photosynthetic responses of cuttings of a hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) to elevated ozone and/or carbon dioxide. Asian Journal of Atmospheric Environment, 査読有, 6, 104-110.

Makoto, K., Shibata, H., Kim, Y.S., Satomura, T., Takagi, K., Nomura, M., Satoh, F. and Koike, T. (2012) Contribution of charcoal to short-term nutrient dynamics after surface fire in the humus layer of a dwarf bamboo-dominated forest. Biology and Fertility of Soils, 査読有, 48, DOI 10.1007/s00374-011-0657-y.

Aguilos, M., Takagi, K., Liang, N., Watanabe, Y., Goto, S., Takahashi, Y., Mukai, H. and Sasa, K. (2011) Soil warming in a cool-temperate mixed forest with peat soil enhanced heterotrophic and basal respiration rates but  $Q_{10}$  remained unchanged. Biogeosciences Discussion, 査読有, 8, 6415-6445.

Kim, Y.S., Watanabe, M., Imori, M., Sasa, K., Takagi, K., Hatano, R. and Koike, T. (2011) Reduced atmospheric CH<sub>4</sub> consumption by two forest soils under elevated CO<sub>2</sub> concentration in a FACE system in northern Japan. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, 査読有, 46, 30-36.

Koike, T., Declining symptom of mountain birch (*Betula ermanii*) in the somma of Lake Mashu in northern Japan. Proceedings of Joint Seminar between Nankai University and Hokkaido University, 2015年2月26日, 北海道大学(北海道札幌市).

Aguilos M, Takagi K., Dynamics of ecosystem carbon balance recovering from clearcutting in a cool-temperate forest. 12<sup>th</sup> AsiaFlux Workshop, 2014年8月21日, IRRI, Los Baños, (Philippines).

Hirayama K, Takagi K., Estimation of GPP by using vegetation index in a young larch plantation, northern Japan. 12<sup>th</sup> AsiaFlux Workshop, 2014年8月20日, IRRI, Los Baños, (Philippines).

Uehara M, Takagi K. Micrometeorological and chamber measurements of methane flux over two forests in Japan. 12<sup>th</sup> AsiaFlux Workshop, 2014年8月20日, IRRI, Los Baños, (Philippines).

Koike, T., Steady State and Dynamic Gas Exchange Responses to Free Air O<sub>3</sub> Exposure in Sensitive or Tolerant Trees. 9th APGC symposiums "Plants and the changing environment". Monterey, USA, 2014年6月10日, Asilomar Conference Center, Monterrey, (USA).

Takagi K., Ecosystem Photo-synthetic and Respiratory Parameters in Asian Forests. The 55<sup>th</sup> Symposium of the International Association for Vegetation Science, 2012年7月27日, Hyundai Hotel, Mokpo, (Korea).

Aguilos, M., Takagi K., Northern Japans cool-temperate forest reaches its carbon compensation point 7 years after clearcutting. The 5th EAFES International Congress, 2012年3月18日, 龍谷大学(滋賀県大津市).

Takagi, K., Inter-site comparison of ecosystem physiological parameters of Asian forest. AsiaFlux Workshop 2011, 2011年11月10日, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, (Malaysia).

Aguilos, M., Takagi K., Northern Japans cool-temperate forest reaches a carbon compensation point 7 years after clearcutting. AsiaFlux Workshop 2011, 2011年11月10日, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, (Malaysia).

[図書](計 3 件)

Koike T., Shi C. and Shi FC. (2015), Proceedings of Joint Seminar between Nankai University and Hokkaido University, Hakuyosha-press, Sapporo, Japan, pp25

Shi FC, Satoh F. Koike T (2014) Joint seminar of Nankai University & Hokkaido University on Da Hing-gan Ling, China, Hakuyosha-press, Sapporo, Japan, pp 27

高木健太郎 (2012) 森林土壌への温暖化の影響, 北海道の気象と農業, 日本農業気象学会北海道支部会(編著), 北海道新聞社, 355-359, 札幌.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 冬樹 (SATOH, Fuyuki)  
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授  
研究者番号: 20187230

### (2) 研究分担者

小池 孝良 (KOIKE, Takayoshi)  
北海道大学・農学研究科・教授  
研究者番号: 10270919

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: 20322844

野村 睦 (NOMUERA, Mutsumi)  
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・助教  
研究者番号: 20271629

笹 賀一郎 (SASA, Kaichiro)  
北海道大学・名誉教授  
研究者番号: 70125318

### 研究協力者

石 福臣 (SHI, Fuchen)  
中国・南開大学・教授

崔 曉陽 (CUI, Xiaoyan)  
中国・東北林業大学・教授

谷 会岩 (GU, Huiyan)  
中国・東北林業大学・助教授

孫 龍 (SUN, Long)  
中国・東北林業大学・助教授