

機関番号：10101

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20380083

研究課題名 (和文) 開放型 CO₂ 付加装置による変動環境下での落葉樹・共生菌系の炭素転流と土壌呼吸評価

研究課題名 (英文) Carbon allocation of deciduous trees infected with microbes in soils and the soil respiration under a free air CO₂ enrichment and soil fertility

研究代表者：

小池 孝良 (KOIKE TAKAYOSHI)

北海道大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：10270919

研究成果の概要 (和文)：開放系大気 CO₂ 増加装置にて育成させた落葉樹の CO₂ の取り込みとその制限要因としての対流圏オゾンの影響、炭素の転流・分配、土壌呼吸を含む温室効果ガスの放出、分解系を制御する中型土壌動物の群集構造を調査した。この結果、オゾン付加により根への転流が阻害され、菌類感染は肉眼では低下した。高 CO₂ 処理では土壌呼吸は増加し、メタン吸収量は減少した。トビムシでは移動性の高い種が高 CO₂ では多い傾向があった。

研究成果の概要 (英文)：We studied the carbon allocation of deciduous trees infected with microbes in soils and greenhouse gas (CO₂ and CH₄) emission rates under a free air CO₂ enrichment (FACE) as affected by soil fertility and simulated tropospheric ozone (O₃). Root growth and microbes' infection of birch were clearly inhibited by O₃ with an open top chamber method. Although plant defense was enhanced by elevated CO₂ but slightly reduced with high soil fertility. At high CO₂, rate of CO₂ efflux increased and CH₄ absorption rate was reduced. Moreover, number of species of collembolan with high mobility was tended to be abundant at high CO₂ treatment with thick litterfall accumulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：造林学・森林生理生態学・森林保護学

科研費の分科・細目：農学・森林科学

キーワード：開放系大気 CO₂ 増加、FACE、分解系、中型土壌動物、被食防衛、温室効果ガス

1. 研究開始当初の背景

(1)大気中 CO₂ はマウナロアの観測では 387ppm に達した。さらに窒素酸化物由来のオゾンが流入し樹木の光合成機能等の生態系の炭素収支にも、従来の生産生態学では予期できない衰退現象が指摘されている。大気中 CO₂ 増加

の低減のために森林の CO₂ 固定能が注目されたが、2008 年からは通称「京都議定書」の約束期間に入って CO₂ 削減行動に移っている。森林の CO₂ 固定機能の概数が提示され、推定値には土壌呼吸が重要な意味を持つが、そのばらつきは 5～90%とされる。この理由は土壌呼吸が樹

体(=根)と微生物の合計であり、従属栄養の微生物活動は樹体の健全性に依存することが指摘される。しかし、高 CO₂ 環境では樹種によって樹体内に大量のデンプン等が集積し、さらに高窒素環境では共生菌類の活動が低下するため、成長が長期に渡る森林の“活力と健全性”等の機能評価には、高 CO₂・窒素付加を想定した研究が急務である。

(2)世界 16ヶ所の FACE 研究から、C3 植物の樹木は高 CO₂ に鋭敏に応答し、生物量は約 1.5%増加(ばらつきは平均値の 45%)するが、データは欧米等に限定されている。そこで、未成熟火山灰土壌を主体とした東アジア唯一の FACE により林分機能を 4 年間調査した。この結果、道管水流を介した木部構造の変化に葉柄・シュートの道管径が細くなる新事実を得た。一方、高 CO₂ 処理区では細根の入れ替わりが激しく、根圏微生物の活動は宿主からの光合成産物に依存しているが、従来の予想に依らず、地下部の活性が反って罹病性増加や食害を招くことも示唆された。

2. 研究の目的

(1) 高 CO₂、窒素沈着やオゾン濃度の増加を宿主の炭素代謝を抑制する要因として捉え、これら変動環境に対する生理応答・罹病虫害性を、より普遍的に定量化するために安定同位体の動態を介した解析を行う。

(2) 土壌からの温室効果ガス(主にメタンと亜酸化窒素)の放出量の季節を解明する。

3. 研究の方法

(1) 土壌呼吸速度を精密に計測するため、現有の開放系大気 CO₂ 増加(FACE)施設に足場を設置して土壌呼吸計測時に根圏に与える影響を避ける。同時に、FACE の老化した配管を改修し、以降の実験に備える。同時に、これまで測定していなかった FACE 周辺と対照区の大気中オゾン(O₃)濃度のモニターを開始する。また、精密な制御実験を行うために、植え付けの影響を避けるために用意した鉢植え材料を精査し、適切なサイズの鉢へ植え替える。赤玉土と鹿沼土を 2:1 で混合した土壌を調整して植え付ける。これらの材料に”小型”ライゾトロン(ライゾトロン)のチェンバーを設置し、森林総研の人工気象室にて CO₂ 処理し、土壌呼吸の測定を厳密に行うモデル実験系を確立する。

(2) 土壌からの温室効果ガスの動態を追跡する。このため、閉鎖式チェンバーを導入し、シリジによってガスサンプリングを行い、ガス・クロマトグラフィーを用いて分析する。土壌の C/N 比を NC 分析器(島津 NC-1000)で分析する。また、ブラックカーボン(炭)の有効性を検討する実験を温室などを利用して行う。材料はスケールアップを念頭にユーラシア大陸に広く分布するグイマツなどを利用する。

(3) 高 CO₂ 環境で育成した材料の食害耐性と

病害耐性などを調査する。手法は従来に公開してきた方法で行う。すなわち葉の NC 含量、総フェノールと縮合型タンニン調べる。

4. 研究成果

(1) 成果:

開放系大気 CO₂ 増加装置において育成させた落葉樹(カンバ類、ミズナラ、ブナ、ヤチダモ、ニホンカラマツなど)の光合成生産を樹高 4~5m に達した CO₂ 付加後 5~7 年目の幼樹を対象に調査した。さらに、樹木の CO₂ 吸収(=光合成)に対する制限要因としての対流圏オゾンの影響、炭素の転流・分配機能について植物生理学的手法を用いて調べた。また、土壌呼吸を含む温室効果ガス(主に CO₂ とメタン:CH₄)の放出・吸収速度を閉鎖系チェンバー法によってサンプリングし、その後、ガスクロマトグラフィーを利用して測定した。さらに、分解系を制御する中型土壌動物の群集構造を調査した。

これらの結果、オゾン非浄化処理ではダケカンバ種樹では光合成産物の根への転流が阻害され、外生菌根菌への感染は肉眼での観察では低下していた。高 CO₂ 処理によって道管水流を介した木部構造が変化し、葉柄・シュートの道管径が細くなる新事実を得た。これは個葉の気孔が高 CO₂ では閉じ気味になり、蒸散が抑制された結果であると考えられる。一方、高 CO₂ 処理区では細根の入れ替わりが激しく、根圏微生物の活動は宿主からの光合成産物に依存しているが、従来の予想に反して、地下部の共生菌の活性が上昇し葉の食害を招くことも検証した。

一方、土壌は分解系を担うが、落葉の分解はまず土壌動物の活動に依存する。そこで、高 CO₂ 処理と対照区での落葉に依存した菌食性のトビムシ類に注目した。その結果、脚の発達した移動性の高い種が高 CO₂ では多い傾向があった。これらの活動の結果と言える土壌呼吸速度は、高 CO₂ 区でやや高かった。しかし、土壌のメタン吸収量は有意に高 CO₂ で低下し、放出側に回った時期もあった。これは蒸散が抑制され、土壌が嫌気状態になった結果と考えられる。

(2) 国内外における位置づけとインパクト:

世界 16ヶ所の FACE 研究から、C3 植物の樹木は高 CO₂ に鋭敏に応答し、生物量は約 1.5%増加(ばらつきは平均値の 45%)するが、データは欧米等に限定されてきた。本研究では未成熟火山灰土壌に注意し、樹木を対象にした東アジア唯一の FACE により林分機能を提供する。特に、虫害の観察と土壌呼吸をはじめ温室効果ガスであるメタンの吸収・放出も調査した。これらの成果は、北半球における CO₂ 上昇にともなう森林生態系の各種変化の予測の基礎を担う情報を提供できる。

(3) 展望:

北日本では越境大気汚染とされる窒素沈着

(NO_x)量が2004年の報告では3.5kg/ha年であったが、2010年では10kg/ha年に激増したことが指摘された。主にNO_xが紫外線と反応して強力な酸化物質オゾン(O₃)が生成し、1970年代と同様に光化学オキシダント(実態はO₃)として、また、植物体への悪影響を与え始めている。この影響は、西南日本と日本海側の比較的高標高地帯のブナやカンバ類を中心に衰退現象として確認されている(伊豆田2006, Kume et al. 2009)。O₃の害作用は主に気孔から葉内に取り込まれて発生する。

一方、大気CO₂濃度はまもなく400ppmvに達する。高CO₂では気孔は閉鎖気味になるので、O₃の取り込みが抑制されると期待される。生産に40~50年かかる造林樹種では成長予測が不可欠になるので、この基礎資料を得る必要性を本研究結果から得た。

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10件)

Eurasian Journal of Forest Researchは北海道大学データベースHUSCUPで公開されている。URLは以下である。

<http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/22025>

- ① Kim YS, Watanabe M, Imori M, Sasa K, Takagi K, Hatano R, Koike T. (2011) Reduced atmospheric CH₄ consumption by two forest soils under elevated CO₂ concentration in a FACE system in northern Japan. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment, 46: 30-36. (査読有)
- ② Hirano, A. Hongo I. and Koike, T. (2011) Morphological and physiological responses of Siebold's beech (*Fagus crenata*) seedlings grown under CO₂ concentrations ranging from pre-industrial to expected future levels. Landscape and Ecological Engineering 7 (DOI: 10.1007/s11355-011-0149-0:査読有)
- ③ Makoto, K., Tamai, Y., Kim, Y.S. and Koike, T. (2010) Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of *Larix gmelinii* seedlings. Plant and Soil: 327: 143-152(査読有)
- ④ Watanabe, Y., Satomura, T., Sasa, K., Funada, R. and Koike, T. (2010) Differential anatomical responses to elevated CO₂ in saplings of four hardwood species. Plant & Cell Environment 33: 1101 - 1111. (査読有)
- ⑤ Suetsugu, N., Satoh, F. and Koike, T. (2010) An atlas of Collembola species in the

Sapporo Experimental Forest of Hokkaido University in Northern Japan. Eurasian Journal of Forest Research 13: 56-67(査読有)

- ⑥ Novriyanti, E., Aoyama, C., Watanabe, M. and Koike, T. (2010) Plants defense characteristics and hypothesis on the birch species. Eurasian Journal of Forest Research 13: 77-85(査読有)
- ⑦ Aoyama, C., Novriyanti, E. and Koike, T. (2010) Induced defense of leaves of Japanese white birch seedlings grazed by Gypsy moth larvae. Eurasian Journal of Forest Research 13: 49-55. (査読有)
- ⑧ Makoto, K., Choi, D.S., Hashidoko, Y. and Koike, T. (2010) The growth of *Larix gmelinii* seedlings as affected by charcoal produced at two different temperatures. Biology and Fertility of Soils 46: 467-472. (査読有)
- ⑨ Qu, L., Kitaoka, S., Kuromaru, M., Osaki, M., Sasa, K. Ustugi, H. and Koike, T. (2009) Root-shoot communication of the seedlings of Japanese larch and its hybrid grown in different temperature regimes. Landscape and Ecological Engineering 5: 115 - 123(査読有)
- ⑩ Watanabe, Y, Tobita, H, Kitao, M, Maruyama, Y, Choi, D.S., Sasa, K., Funada, R. and Koike, T. (2008) Effects of elevated CO₂ and nitrogen on wood structure related to water transport in seedlings of two deciduous broad-leaved tree species. Trees - Structure and Function 22: 403-411.(査読有)

[学会発表](計17件)

日本森林学会北海道支部のデータベースにて、講演論文集は公開されている。アドレスは以下である。

<http://www.agr.hokudai.ac.jp/jfs-h/index.php>

- ① 伊藤寛剛・渡辺 誠・毛 巧芝・Eka Novriyanti・上田龍四郎・高木健太郎・笹賀一郎・斎藤秀之・渋谷正人・小池孝良 (2011) 開放系大気 CO₂増加(FACE)施設で育成したカンバ類3種のシュートの動態. 日本森林学会北海道支部論文集 59: 35-38. 2010年11月9日、札幌
- ② 渡辺 誠・毛 巧芝・Eka Novriyanti・伊藤寛剛・上田龍四郎・高木健太郎・笹賀一郎・小池孝良 (2011) 開放系大気 CO₂増加(FACE)施設で育成したカンバ類3種の光合成活性. 日本森林学会北海道支部論文集 59:39-40. 2010年11月9日、札幌
- ③ 稲田直輝・渡辺 誠・斎藤秀之・渋谷正人・小池孝良(2011) 高CO₂および高O₃下に

- おけるカンバ類3種稚樹の成長. 日本森林学会北海道支部論文集 59:41-44. 2010年11月9日、札幌
- ④ Watanabe, M., Kitaoka, S., Utsugi, H., Kita, K. and Koike, T. (2010) Photosynthetic traits of hybrid larch F1 under down regulation of photosynthesis by elevated CO₂ concentration. Canopy processes in a changing climate, 7-15 October 2010, Falls Creek, Victoria and Tarraleah, Tasmania, Australia.
- ⑤ Koike, T., Watanabe, M., Eguchi, N., Watanabe, Y., Satomura, T., Mao, Q., Takagi, K., Funada, R. and Sasa, K., Effects of elevated CO₂ on the aboveground growth of sprouts of deciduous broadleaved trees grown in FACE. XXIII IUFRO World Congress, 23-28 August 2010, Seoul, Korea.
- ⑥ Watanabe, M., Mao Q., Novriyanti, E., Kita, K., Ueda, T., Takagi, K., Sasa, K. and Koike, T. (2010) Effects of elevated CO₂ concentration on the growth and photosynthesis of hybrid larch F1 seedlings. XXIII IUFRO World Congress, 23-28 August 2010, Seoul, Korea.
- ⑦ Watanabe, M., Kitaoka, S., Takagi, K., Sasa, K. and Koike, T. (2010) Growth and photosynthetic traits of coppice of (*Quercus crispula*) under elevated CO₂ concentration: Powdery mildew-mediated effects. International Conference on "Mechanisms of Growth, Competition and Stress Defense in Plants", 1-3 March 2010, Freising, Germany.
- ⑧ Koike, T., Tobita, H., Agari, T., Kitao, M., Watanabe, M., Makoto, K., Sasa, K. and Hashidoko Y. (2010) Plant defense characteristics of alder species native to northern Japan grown at elevated CO₂ in FACE. International Conference on "Mechanisms of Growth, Competition and Stress Defense in Plants", 1-3 March 2010, Freising, Germany.
- ⑨ Watanabe, Y., Hinata, K., Ootsuka, Y., Watanabe, M., Sasa, K. and Koike, T. (2010) Seasonal changes in distribution of defensive chemical substances in leaves of deciduous broadleaved tree species in northern Japan. International Conference on "Mechanisms of Growth, Competition and Stress Defense in Plants", 1-3 March 2010, Freising, Germany.
- ⑩ 末次直樹・斎藤秀之・澁谷正人・小池孝良 (2010) アカエゾマツとカラマツ林における中型土壤動物群集—北海道大学実験苗畑の事例—. 日本森林学会北海道支部論文集, 58:35-36. 2009年11月11日、札幌
- ⑪ 日向潔美・渡邊陽子・渡辺誠・北岡哲・飛田博順・上村章・宇都木 玄・小池孝良 (2010) 高 CO₂ と窒素付加環境で生育した落葉広葉樹個葉の被食防衛物質の局在一処理 2 年間の影響—. 日本森林学会北海道支部論文集, 58:43-46. 2009年11月11日、札幌
- ⑫ 福澤加里部, 柴田英昭・高木健太郎・佐藤 冬樹・笹賀一郎・小池 孝良 (2009) 冷温帯林における細根生産・枯死の季節変動と年変動. 根の研究 18(2):70, 2009年5月9日、北海道・足寄
- ⑬ Watanabe, M., Kitaoka, S., Watanabe, Y., Makoto, K., Ueda, T., Takagi, K., Sasa, K. and Koike, T. (2009) Growth and photosynthetic traits of coppice of five dominant deciduous broad-leaved trees grown under elevated CO₂ concentration. 24th IGBP-SC Meeting, 15-17 April 2009, Otaru, Hokkaido, Japan.
- ⑭ 日向潔美, 渡邊陽子・北岡 哲・渡辺誠・飛田博順・上村 章・宇都木 玄・北尾光俊・小池孝良 (2009) 高 CO₂ と窒素付加環境で生育した落葉広葉樹個葉の被食防衛物質の局在. 日本森林学会北海道支部論文集, 57, 45-47, 2008年11月10日、札幌
- ⑮ 北岡 哲・渡辺 誠・渡辺陽子・飛田博順・上村 章・宇都木 玄・江口則和・笹賀一郎・小池孝良 (2009) 開放系大気 CO₂ 増加 (FACE) 施設で育成した冷温帯主要落葉樹萌芽の光および窒素利用特性. 日本森林学会北海道支部論文集, 57: 191-193, 2008年11月10日、札幌
- ⑯ Koike, T., Eguchi, N., Kitaoka, S., Watanabe, M., Watanabe, Y., Makoto, K., Funada, R., Takagi, K., Shibata, H., Hiura, T. and Sasa, K. (2008) Effect of elevated CO₂ on the physiological adjustment and xylem structure of deciduous tree species grown in Free Air CO₂ Enrichment (FACE). The International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry 2008 (ICSA2008), 2-6 July 2008, Sapporo, Hokkaido, Japan.
- ⑰ Kitaoka, S., Sakata, T., Watanabe, M., Kim, Y., Utsugi, U., Tobita, H., Uemura, A., Aizawa, S., Kitao, M., Maruyama, Y., Sasa, K. and Koike, T. (2008) Evaluation of methane emission from three dominant cool temperate deciduous tree species grown under elevated CO₂ concentration in northern Japan. The International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry 2008 (ICSA2008), 2-6 July 2008, Sapporo,

Hokkaido, Japan.

[図書] (計 2 件)

- ① Koike, T., et al. (5 名中一番目). (2010) Effects of elevated CO₂ on ecophysiological responses of larch species native to Northeast Eurasia. *In*: Osawa, A., et al. (eds.) Permafrost Ecosystem: Siberian Larch Forests. Ecological Studies 209, Springer Verlag, 447-458.
- ② 小池 孝良 他編集、北方林業会、北の森づくり Q&A、2009、201

[その他]

(1) 報道関係

2010 年 12 月 13 日報道ステーションにて、対流圏オゾン影響の調査している映像が公開され、研究機関・北海道大学の名称が紹介された。

(2) アウトリーチ (普及誌)

- ① 青山千穂・小池孝良(2011) カンバ類の防御に関する研究例—育種と防御の関係性—、北海道の林木育種 53: 10-13.
- ② 龍田慎平・渡辺 誠・斉藤秀之・小池孝良(2011) 大気浄化実験によるダケカンバとシラカンバ苗木の成長応答—対流圏オゾンによる成長阻害の種間差の検討—。北方林業 63:39-41
- ③ 小池孝良(2010) 摩周湖外輪山のダケカンバの成長とオゾン影響評価の予報、広報てしかが、平成 22 年 12 月:10-11
- ④ 小池孝良 (2010) 森林美学における混交林化—環境変化の影響と対策—。北方林業 62: 238-241
- ⑤ 伊森允一・渡辺 誠・小池孝良 (2010) 酸性降下物とオゾンに対する樹木の応答、北方林業, 62: 8-11.
- ⑥ 小池孝良(2010) 森で実験、気候変動の影響、日経サイエンス 2010 年6月:112-119.
- ⑦ 末次直樹・小池孝良 (2009) 高 CO₂ 環境が分解系に与える影響～土壤動物の役割～、北方林業 61: 149-152.
- ⑧ 江口則和・北岡哲・崔東壽・小池孝良(2008)世界の FACE から～世界各地の開放系大気 CO₂ 増加実験 (Free Air CO₂ Enrichment:FACE) を見学して～。北方林業 60: 277-280
- ⑨ 小池孝良・江口則和・渡辺 誠・渡邊陽子・北岡 哲・里村多香美・高木健太郎・柴田英昭・日浦 勉・笹 賀一郎・船田 良(2008) RR2002・モジュール FACE 研究の展開 —札幌実験苗畑の利用—。北方森林保全技術 26: 47-52

(3) ホームページ:

<http://www.agr.hokudai.ac.jp/fres/silv/index.php>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小池 孝良 (KOIKE TAKAYOSHI)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号:10270919

(2) 研究分担者

笹 賀一郎 (SASA KAICHIRO)
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:70125318

柴田 英昭 (SHIBATA HIDEAKI)

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:70281798

杉本 敦子 (SAGIMOTO ATSUKO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

研究者番号:50235892

宇都木 玄 (UTSUGI HAJIME)

(独)森林総合研究所・北海道支所・チーム長

研究者番号:40353601

(3) 連携研究者 なし