

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月11日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21580170

研究課題名（和文）開放系大気CO<sub>2</sub>増加実験による針広混交林の虫害評価手法の高度化研究課題名（英文）Estimation of herbivory in temperate mixed forests using a Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment system.

研究代表者

渡邊 陽子 (WATANABE YOKO)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・学術研究員

研究者番号：30532452

研究成果の概要（和文）：本研究では、将来予測される高CO<sub>2</sub>濃度環境下での森林管理における虫害評価手法を構築するために、長期間高CO<sub>2</sub>濃度環境下で生育させたブナの被食防衛能を明らかにした。2009-2011年に、開葉から落葉までの生育期間を通して解析を行った結果、開葉直後よりも葉が成熟した6月以降で、高CO<sub>2</sub>濃度により被食防衛能が高まっていることが明らかとなった。これにより、6月以降に出現する食葉性昆虫が影響を受ける可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to clarify the effect of elevated CO<sub>2</sub> on the defense ability of beech (*Fagus crenata*) to estimate long-term forest management under global climate change. Leaves of young beech trees grown at Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) system and control sites were taken during growing season during 2009-2011, and defense traits of leaves such as leaf mass per area (LMA), CN ratio, concentration of total phenolics and condensed tannin were analyzed. All defense traits were higher under elevated CO<sub>2</sub> compared to ambient CO<sub>2</sub> after leaf maturity on mid-June, in particular in 2011. These results indicated that changes in defense of beech leaves might affect the herbivory of specialists that emerge on August.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：針広混交林、高CO<sub>2</sub>、虫害、被食防衛

## 1. 研究開始当初の背景

急激な大気中CO<sub>2</sub>濃度の増加による地球温暖化が問題化している現在、虫害による森林樹木の被害が深刻化している。大気中CO<sub>2</sub>は植物の光合成作用に利用されるが、CO<sub>2</sub>濃度の上昇は植物の光合成能に影響を及ぼすと考えられる。樹木を含む植物は、植物を食害する

昆虫や動物（以下、植食者）に対して、植物体の表面にトゲや毛をはやしたり、植物体内に植食者の成長や産卵率を低下させるフェノール性物質を蓄積させることで、防御を行っている。これらの防御物質は、光合成作用により生産される光合成生産物由来であるため、大気中CO<sub>2</sub>濃度の上昇により、光合成作

用が影響を受け、それにより防御物質の生産も影響を受けると考えられる。したがって、将来予測される高CO<sub>2</sub>濃度環境下で樹木の被食防御能がどのように変化するか明らかにし、長期間にわたる森林管理のための虫害評価の手法を構築する必要がある。

これまでに、将来予測される高CO<sub>2</sub>濃度環境下における樹木の被食防御能（植食者の食害に対する植物の防御能力）については、環境調節室でのポット植えの苗木での実験が行われてきた。その結果、高CO<sub>2</sub>濃度環境下では、葉のCN比の増加やフェノール性物質の増加などが明らかとなった。しかしながら、ポット植えの場合、樹木の根系が制限されるため長期間のCO<sub>2</sub>付加実験を行うことが出来ない。そこで、根系の制限無しに長期間CO<sub>2</sub>付加が可能な開放系大気CO<sub>2</sub>増加（Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment; 以下、FACE）装置を用いて実験が行われるようになってきた。これまでに、欧米でのFACE実験により、高CO<sub>2</sub>濃度環境下では、落葉広葉樹の葉の質の変化（葉内窒素量の減少）や植食者による食害率の減少や植食者の産卵率の低下などが報告されている。これにより、高CO<sub>2</sub>濃度環境下においては、樹木の被食防御能が変化し、樹木と植食者間の相互関係が変化することが示唆された。しかしながら、日本においては高CO<sub>2</sub>濃度環境下における樹木の被食防御能の変化および樹木-植食者間の相互関係についての知見が非常に少ないのが現状である。

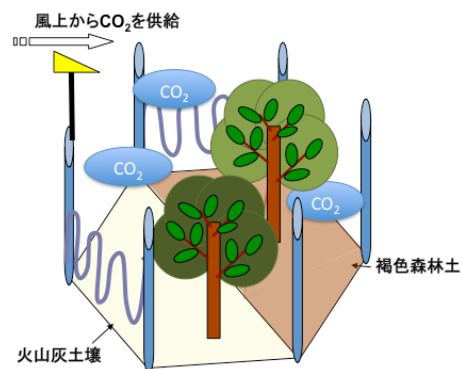
## 2. 研究の目的

本研究では、長期間高CO<sub>2</sub>濃度環境下で生育された樹木の被食防御能を明らかにすることにより、将来予測される高CO<sub>2</sub>濃度環境下での、北海道における針広混交林の虫害に対する森林管理の基礎的な知見を得ることを目的とする。特に、これまでにほとんど報告のない、開葉から落葉までの季節変動に着目する。

## 3. 研究の方法

### (1) FACE の概要

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林苗畑に設置されたFACEは、5m x 6mの六角形をしており、半分には褐色森林土、残り半分は火山灰土壌となっている。CO<sub>2</sub>は常に風上から供給される。苗畑には、FACE区が3つ、同様の対照区が3つ設置されている。FACE区内のCO<sub>2</sub>濃度は約500ppm、対照区のCO<sub>2</sub>濃度は約370ppmである。FACE区および対照区には、カバノキ属など北海道の主要広葉樹およびカラマツ属などの北海道の主要造林種の苗木が植栽されている。FACEのCO<sub>2</sub>暴露期間は、開葉から落葉までであり、冬期は行われていない。



### (2) 試料

FACE (CO<sub>2</sub>濃度; 500ppm) および対照区 (CO<sub>2</sub>濃度; 370ppm) で長期間 (約9年間) 生育させたブナ (*Fagus crenata*) の幼木の個葉を、2009~2011年に採取し、実験に供した。

ブナは北海道南部から九州まで分布する、日本の冷温帯林を代表する落葉広葉樹であり、水源涵養林としても重要であると考えられている。これまでにブナの被食防御能の特性や植食者の種類が報告されている。

### (2) 実験方法

#### ①フェノロジーの観察

温帯樹木では、春先の開葉直後の柔らかい葉を多く食害される。開葉時期と食葉性昆虫の食害時期が一致するかどうかで、食葉性昆虫の個体群が影響を受ける。高CO<sub>2</sub>濃度環境では樹木の開葉時期が変化する可能性も示唆されていることから、本研究においても、高CO<sub>2</sub>濃度環境下において、春先のブナの開葉時期が変化するかどうか、冬芽の段階から展葉が終了するまで、定期的に観察を行った。さらに、FACE区と対照区のフェノロジーを比較するために各開葉段階における開芽度評価基準を設定し、数値化を行った。

#### ②昆虫センサス

FACEと対照区で、食葉性昆虫の種類の違いや出現時期の違いがあるのか、ブナの開葉から落葉までの期間、定期的に調査を行った。

#### ③葉の質

開葉から落葉まで、定期的に葉を採取し、食葉性昆虫の食害に影響する葉の質（堅さ、CN比、総フェノール量、縮合タンニン量）の測定を行った。

#### ④被食防御物質の局在

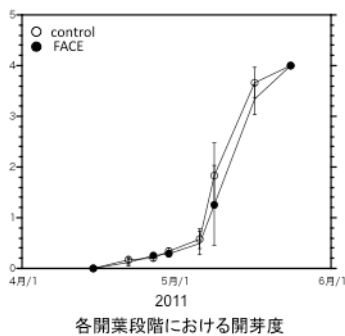
食葉性昆虫の食害部位が、食葉性昆虫の齢や種類によって異なることから、葉内の被食防御物質（フェノール性物質）は葉内に均一に存在しているのではなく、局在しているのではないかと考えられる。そこで、定期的に採取した葉の一部を2%グルタルアルデヒド

溶液に固定し、その後アルコールシリーズで脱水後、エポキシ樹脂で包埋した。葉の薄切片を作成し、フェノール性物質の分布を観察するために、顕微鏡観察を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) フェノロジーおよび昆虫センサス

2009～2011 年でFACEと対照区の特徴の比較を行った結果、3年間で高CO<sub>2</sub>濃度による違いは見られなかった。北海道大学北方生物圏フィールド科学センター札幌研究林苗畑では、ブナは4月下旬から5月上旬に開葉する。この開葉時期は年変動が大きく、高CO<sub>2</sub>濃度の影響よりもむしろ、気温などの他の環境要因が影響していると考えられる。



また、昆虫センサスの結果、FACE区と対照区の食葉性昆虫は主にマイマイガやカシワマイマイの幼虫およびハンノキハムシの成虫であり、出現時期もFACE区と対照区で、ほぼ同じであった。したがって、ブナに関しては、高CO<sub>2</sub>濃度環境下においても、開葉時期が変化することはないと考えられる。また昆虫については今後研究が必要であると考えられるが、本研究においては出現時期にも変化がなかったことから、開葉時期と昆虫の食害時期の変化による昆虫の個体群の変動はないと考えられる。



マイマイガ幼虫

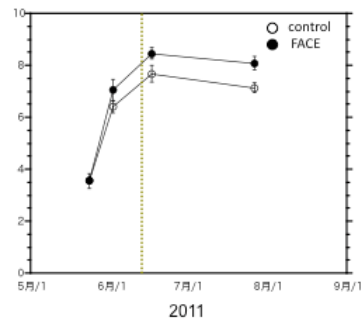
ハンノキハムシ

##### (2) 葉の質の変化

###### ① 葉の堅さ

葉の堅さの指標として、Leaf Mass per Area (以下、LMA)を用いた。両処理区において、いずれの年も6月中旬で最大となった。2009年ではFACEと対照区で差が見られなかった

が、2011年では、6月以降FACEでLMAが有意に高かった。

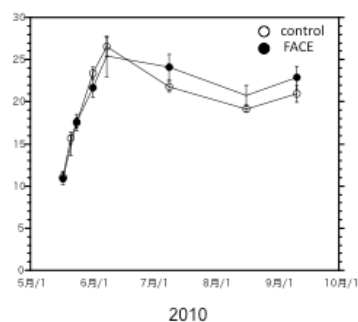


FACE区と対照区のLMAの季節変化

このことから、ブナの幼木の葉は、大気中CO<sub>2</sub>濃度の違いにかかわらず、6月中旬に成熟することが示唆された。しかしながら、高CO<sub>2</sub>濃度環境の方が葉が堅くなる可能性が示唆された。

###### ② CN比

葉のCN比は、CNアナライザーにより分析を行った。年変動はあるがFACE区、対照区ともに6月中旬に最大となり、8月中旬に最小となった。FACE区と対照区を比較すると、2009年、2010年ともに、6月中旬以降FACEの方が高かったが、有意な差は見られなかった。2011年では、7月にFACE区でCN比が有意に高かった。このCN比の違いは、葉内窒素量の違いによるものであった。FACE区の試料では、対照区より、葉内窒素量が減少していた。

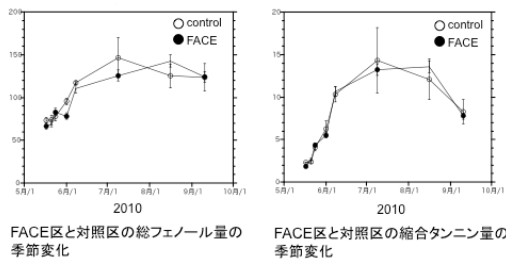


FACE区と対照区のC/Nの季節変化

この結果と植食者の出現時期を比較した。ブナの場合、春の開葉時期と夏(8月ごろ)に主な植食者が出現することが報告されているが、いずれも葉内のCN比が低い時期と一致した。したがって、CN比が高CO<sub>2</sub>濃度環境の影響を受ければ、植食者にも影響が及ぶことが示唆された。

### ③総フェノール量と縮合タンニン量

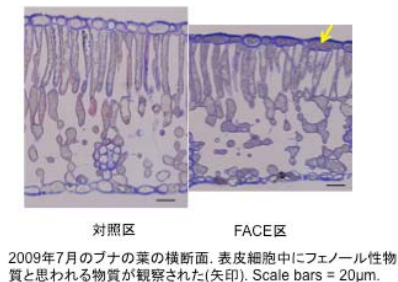
総フェノール量と縮合タンニン量は、凍結乾燥させた葉を粉砕し、総フェノール量はFolin-Ciocalteu法により、縮合タンニン量はProanthocyanidin法により分析を行った。これらは、2010年ではFACE区と対照区で有意差が見られなかったが、2011年では、葉が成熟した6月以降、FACE区で有意に値が高かった。



総フェノール量と縮合タンニン量は、植食者の成長率や産卵率を低下させるフェノール性物質である。これまでの報告と同様、本研究においても、高CO<sub>2</sub>濃度環境下ではこれらのフェノール性物質が増加することが明らかとなった。

### (3) 被食防衛物質の局在

FACE区を試料で、6月以降、表皮細胞に被食防衛物質と思われる物質が存在していることが観察された。



以上の結果をまとめると、葉が成熟する6月中旬までは、FACEと対照区で葉の質にほとんど違いは見られないが、6月以降は、対照区と比較してFACEで葉が堅くなり防御物質が増えることが明らかとなった。これは2011年に最も顕著にみられた。また、防御物質は、おもに表皮細胞に局在していた。

これらの結果から、高CO<sub>2</sub>濃度環境下においては、ブナは葉が成熟する6月中旬以降に、防御能力が高まることが示唆された。ブナの場合、春先の開葉時期にはジェネラリスト(多種類の植物を食する植食者)が、夏以降はブナのみを食害するスペシャリスト(特定

の植物のみを食する植食者)が出現することが報告されている。したがって、本研究から、将来予測される高CO<sub>2</sub>濃度環境下では、スペシャリストとブナの相互関係に影響を及ぼす可能性が示唆された。

### 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1件)

①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・北尾光俊・小池孝良(2010)高CO<sub>2</sub>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 -2 生育期間に渡る処理の影響-. 日本森林学会北海道支部論文集 58: 43-46. 査読有

〔学会発表〕(計4件)

①渡邊陽子・大塚優佳・日向潔美・小池孝良. ブナ個葉の被食防衛物質の分布の季節変化. 第121回日本森林学会. 筑波大学(つくば市). 2010年4月3日.

②渡邊陽子・松木佐和子・笹 賀一郎・小池孝良. 開放系大気CO<sub>2</sub>増加(FACE)実験で生育したブナのフェノロジーと植食者に対する個葉の応答. 第122回日本森林学会大会. 静岡大学(静岡市). 2011年3月27日.

③渡邊陽子・松木佐和子・笹 賀一郎・小池孝良. 長期間高CO<sub>2</sub>濃度環境下で生育したブナの個葉特性と被食防衛物質の局在. 第123回日本森林学会大会. 宇都宮大学(宇都宮市). 2012年3月28日.

④Watanabe, Y., Hinata, K., Ootsuka Y., Watanabe M., Sasa, K. and T. Koike. Seasonal changes in distribution of defensive chemical substances in leaves of deciduous broadleaved tree species in northern Japan. 4th International Symposium of "Growth and Parasite Defense: Competition for Resources in Economic Plants from Agronomy and Forestry". Technische Universität München (Freising-Weihenstephan, Germany). 2, March, 2010.

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

渡邊 陽子 (WATANABE YOKO)  
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・学術研究員  
研究者番号: 30532452

#### (2) 研究分担者

松木 佐和子 (MATSUKI SAWAKO)  
岩手大学・農学部・講師

研究者番号：40443981

(3)連携研究者  
なし