

2012年4月20日 昼ゼミ  
担当: 伊藤

# **Fine root responses of mature deciduous forest trees to free air carbon dioxide enrichment (FACE)**

成熟した落葉樹林FACEにおける細根の応答

Martin Bader\*, Erika Hiltbrunner and Christian Körner

*Institute of Botany, University of Basel, Switzerland*

*Functional Ecology 2009, 23, 913–921*

# Before my presentation...

高CO<sub>2</sub>環境下での細根生産について

[いつかの昼ゼミ]

高CO<sub>2</sub>環境下で細根の生産量は**増加する**

Fine root production **increases** under elevated CO<sub>2</sub>.

(Oak Ridge FACE; Iversen *et al.* 2008)

[今回の論文]

高CO<sub>2</sub>環境下で細根の生産量は**減少する**

Fine root production **decreases** under elevated CO<sub>2</sub>.

両者を比較してみよう!!

# Introduction

- 化石燃料の燃焼や土地利用の変化によって、大気中CO<sub>2</sub>濃度が上昇し、気候変動に対して植物は直接刺激される

Fossil fuel burning and rigorous land use change caused the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration to rise (IPCC 2007), and plant life on earth is directly challenged by carbon enriched nutrition.

- 森林は陸上生態系における主要な炭素貯留源としての役割を担う
- CO<sub>2</sub>増加に対する樹木の応答は、将来の全球的な炭素循環にとって重要である

Given the role of forests as major terrestrial biomass carbon stores, tree responses to the ongoing rise in atmospheric CO<sub>2</sub> are crucial for the future global carbon cycle (Schimel 1995; Schlesinger 1997).

# Introduction

- 細根の総生産量は、年間一次総生産量の1/3に及ぶ

Fine roots reach one-third of the global annual net primary production (Jackson, Mooney & Schulze 1997).

→炭素貯留源として細根の動態を把握する必要性

- 高CO<sub>2</sub>環境下では過剰な炭素供給のせいでより養分を必要とするため、根系へ炭素を投資する？

→成熟した森林で検証

The carbon investment in root systems under elevated CO<sub>2</sub> is presumably driven by the need to acquire more nutrients in order to match the enhanced atmospheric C supply (Norby & O'Neill 1991; Körner & Arnone 1992; Rogers *et al.* 1994; Curtis & Wang 1998; Hättenschwiler & Körner 1998; Matamala *et al.* 2003; Norby *et al.* 2004).

# Introduction

## スイスクレーンキャンピー(SCC)サイトのWeb-FACE

- CO<sub>2</sub>付加3-8年目で最大光合成速度は42-52%増加
- 胸高断面積合計やLAIには一貫した応答が見られず

At the Swiss Canopy Crane FACE site we did not observe consistent above-ground biomass responses to elevated CO<sub>2</sub> – neither in basal area nor in leaf litter (LAI) – while light-saturated photosynthesis per unit leaf area was 40–52% enhanced during years 3 and 8 of CO<sub>2</sub> enrichment (Körner *et al.* 2005; Zotz *et al.* 2005; Bader *et al.* unpublished data).

- しかしながら、CO<sub>2</sub>付加初期の土壌CO<sub>2</sub>濃度と安定同位体のデータから、土壌中への炭素フラックス増加を示唆

Enhanced soil air CO<sub>2</sub> concentration and stable isotope data both indicated increased carbon flux to the soil under elevated CO<sub>2</sub> during the early years of this experiment (Steinmann *et al.* 2004; Keel, Siegwolf & Körner 2006).

# Introduction

〔仮説〕

高CO<sub>2</sub>環境下では土壤中の細根バイオマスの増加によって、地下への炭素配分が増加する

We hypothesized greater below ground C allocation under elevated CO<sub>2</sub> assessable in enhanced fine root biomass.

併せて、細根中のCおよびN濃度の変化に伴う細根の質への影響も調査

We asked whether elevated CO<sub>2</sub> affects fine root quality through shifts in C and N concentrations.

# Materials & Methods

## 〔調査地〕

### スイスキャノピークレーン(SCC)サイト

- 平均気温 (temperature): 1月; 2°C, 7月; 19°C
- 年平均降水量 ( precipitation ): 990mm
- 林齢 (stand age): 約100年生
- 平均樹高 (tree height): 30-35 m
- 立木密度 (tree density): 415本 ha<sup>-1</sup>
- 胸高断面積 (basal area): 46m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>
- ピーク時のLAI (葉面積指数): 約5 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>

# Materials & Methods

## 〔調査地〕

### スイスキャノピークレーン(SCC)サイト

- 優占樹種 (dominant species):

*Fagus sylvatica* L.(ヨーロッパブナ)

*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.(フユナラ)

*Carpinus betulus* L.(セイヨウシデ)

- 土壌特性 (soil property):

肥沃度の高い石灰質土壌(レンジナ様土、ヨーロッパで典型的) Fertile calcareous soil; typical for European forest

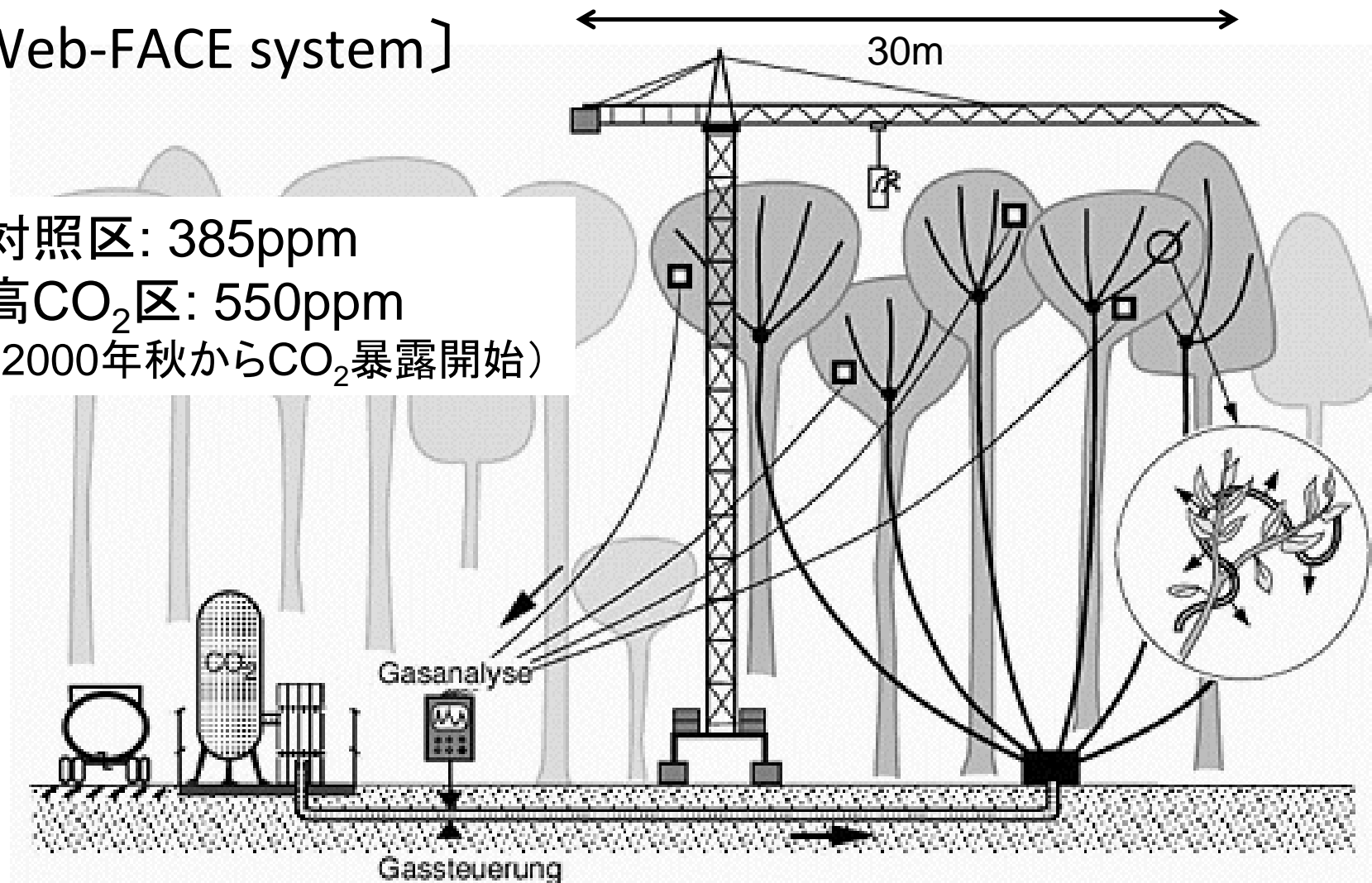
- 土壌pH(地下10cm):  $5.8 \pm 0.2$



# Materials & Methods

[Web-FACE system]

対照区: 385ppm  
高CO<sub>2</sub>区: 550ppm  
(2000年秋からCO<sub>2</sub>暴露開始)



# Materials & Methods

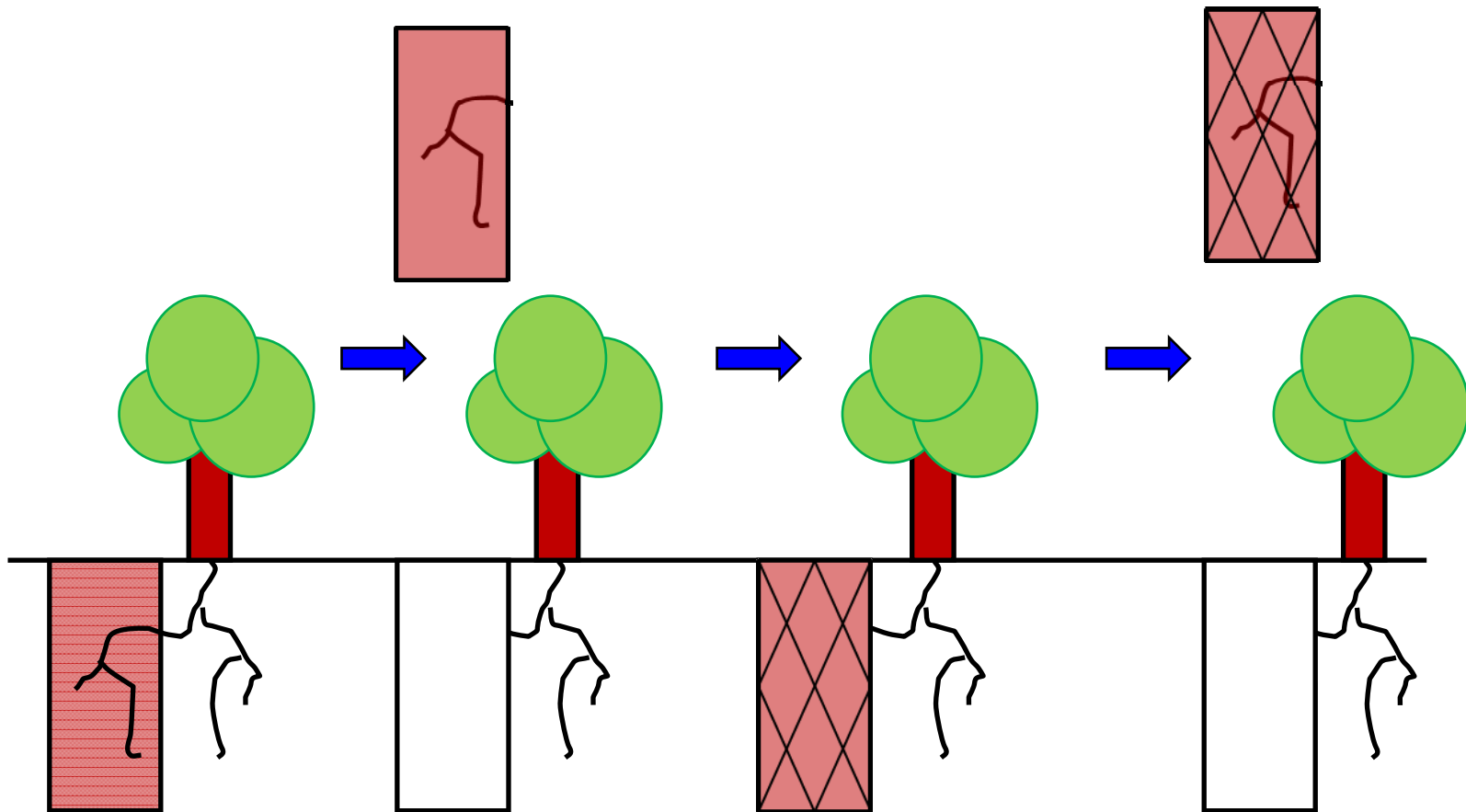
## 〔測定項目〕

- 土壌含水率 (soil water content)
- 細根の採取 (直接コアサンプリング法、イングロースコア法) fine root sampling by soil core & ingrowth core
  - ◆ 細根バイオマス (fine root biomass)
  - ◆ CおよびN含有量 (C & N content in fine root)
  - ◆ 安定同位体<sup>13</sup>C比 (ratio of stable isotope <sup>13</sup>C)

# Materials & Methods

直接コアサンプリング法  
Soil core

イングロースコア法  
Ingrowth core



# Results - soil water content -

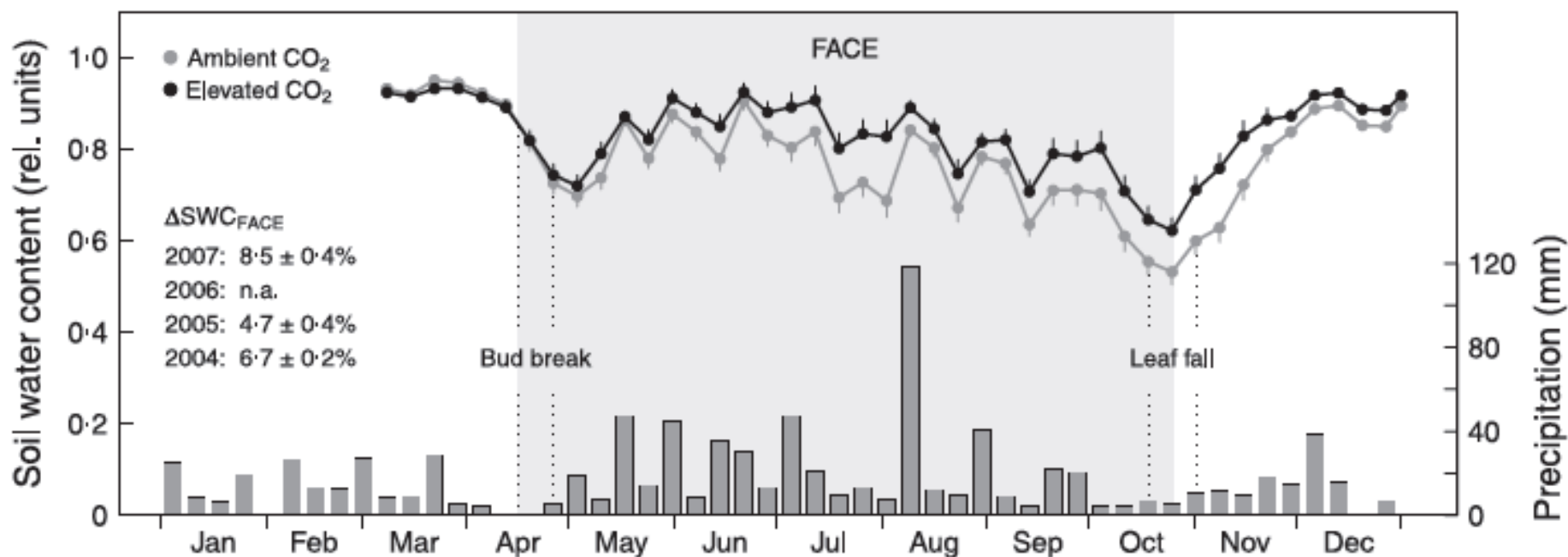


図1. 2007年の降水量および各処理木下の土壌含水量(SWC)

蒸散などの樹液流が減少した結果、成長期全体を通して高CO<sub>2</sub>区で高く維持された ( $P < 0.001$ , Cech, Pepin & Körner 2003; Leuzinger & Körner 2007) Mean volumetric water content during growing seasons was significantly higher in soil under trees exposed to elevated CO<sub>2</sub> than under control trees, resulting from reduced sap flow (i.e. reduced transpiration) in CO<sub>2</sub>-enriched trees.

# Results

## - fine root biomass -

土壌コア、イングロースコア共に、高CO<sub>2</sub>区で細根バイオマスが減少傾向にある ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.1$ )

Soil cores(2005) & ingrowth cores showed less fine root biomass of c. – 30% in live fine roots < 1 mm diameter in sample areas under trees receiving 550 ppm CO<sub>2</sub> compared to control trees.

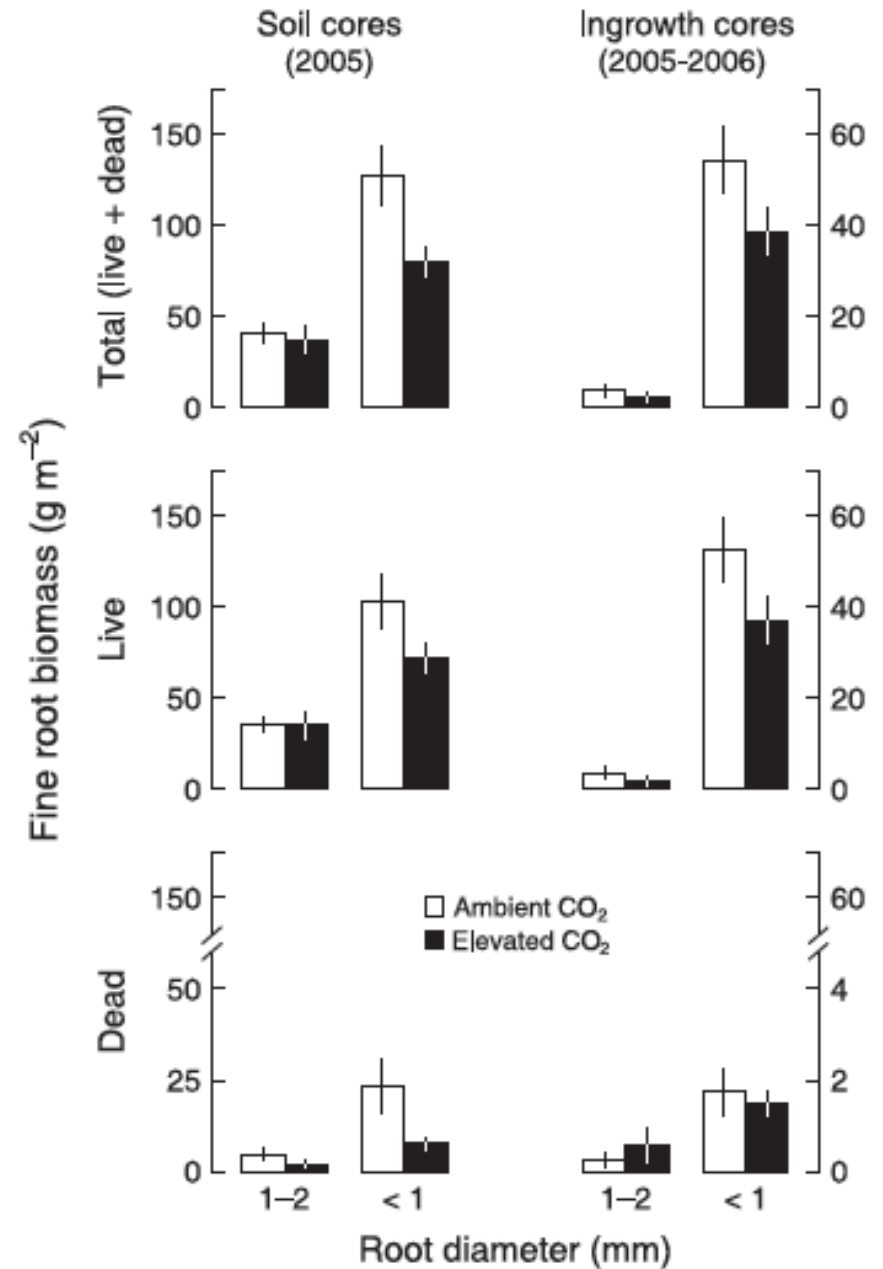


図2. 細根バイオマス

# Results

## - fine root biomass -

2007年の細根バイオマスには  
CO<sub>2</sub>暴露の影響は認められず  
( $p=0.33$ )

The fine root biomass in soil cores(2007)  
under trees exposed to elevated CO<sub>2</sub>  
had no significant influence on newly  
produced fine root biomass.

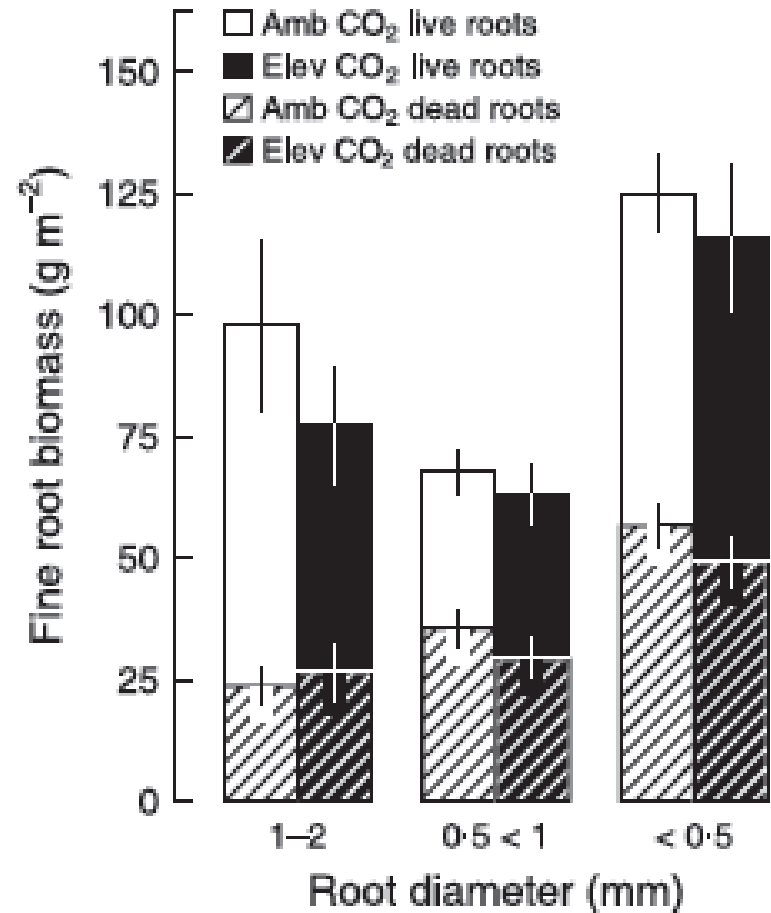


図3. 土壌コア(2007年夏)  
の細根バイオマス

# Results -C & N content in fine root-

細根のCおよびN濃度にはCO<sub>2</sub>暴露の影響は認められず

Elevated CO<sub>2</sub> had no effect on C & N and C:N ratio in live fine roots(ingrowth cores) .

	Ambient CO <sub>2</sub>	Elevated CO <sub>2</sub>	<i>P</i>
	Mean ± SE	Mean ± SE	
Fine root C concentration (mg g <sup>-1</sup> )	421.7 ± 9.5	422.0 ± 9.3	0.98
Fine root N concentration (mg g <sup>-1</sup> )	15.7 ± 0.5	16.5 ± 0.6	0.33
Fine root C : N	27.0 ± 0.8	25.9 ± 0.8	0.32

表. イングロースコアから採取された細根中のCおよびN濃度

# Results –fine root $^{13}\text{C}$ signals

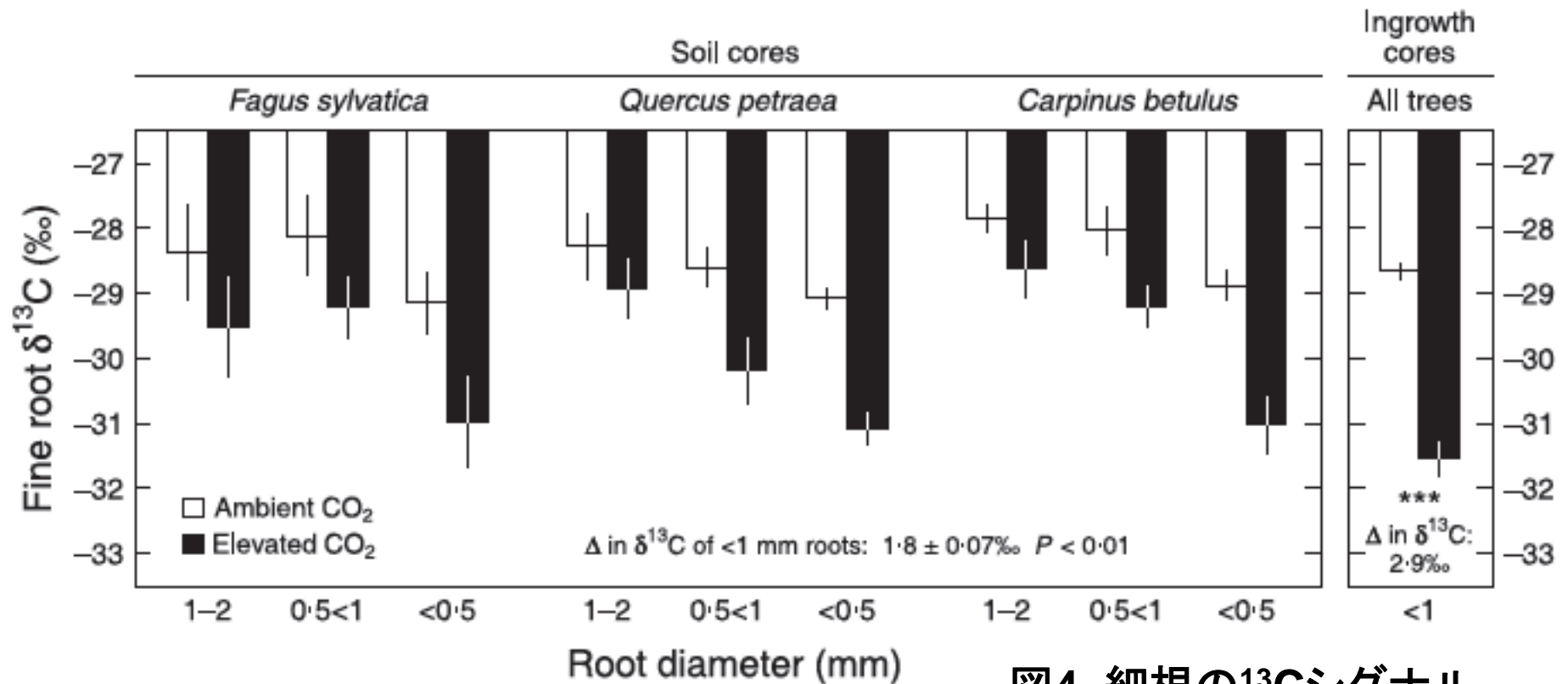


図4. 細根の $^{13}\text{C}$ シグナル

$$\delta^{13}\text{C} = \left\{ \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard (イカの化石)}}} - 1 \right\} \times 1000 (\text{‰}) \quad R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$$

※化石燃料は $^{13}\text{C}$ が含まれている量が小さい → 人工的に暴露した $\text{CO}_2$ を固定することで樹木内の $\delta^{13}\text{C}$ は低下



# Results –fine root $^{13}\text{C}$ signals

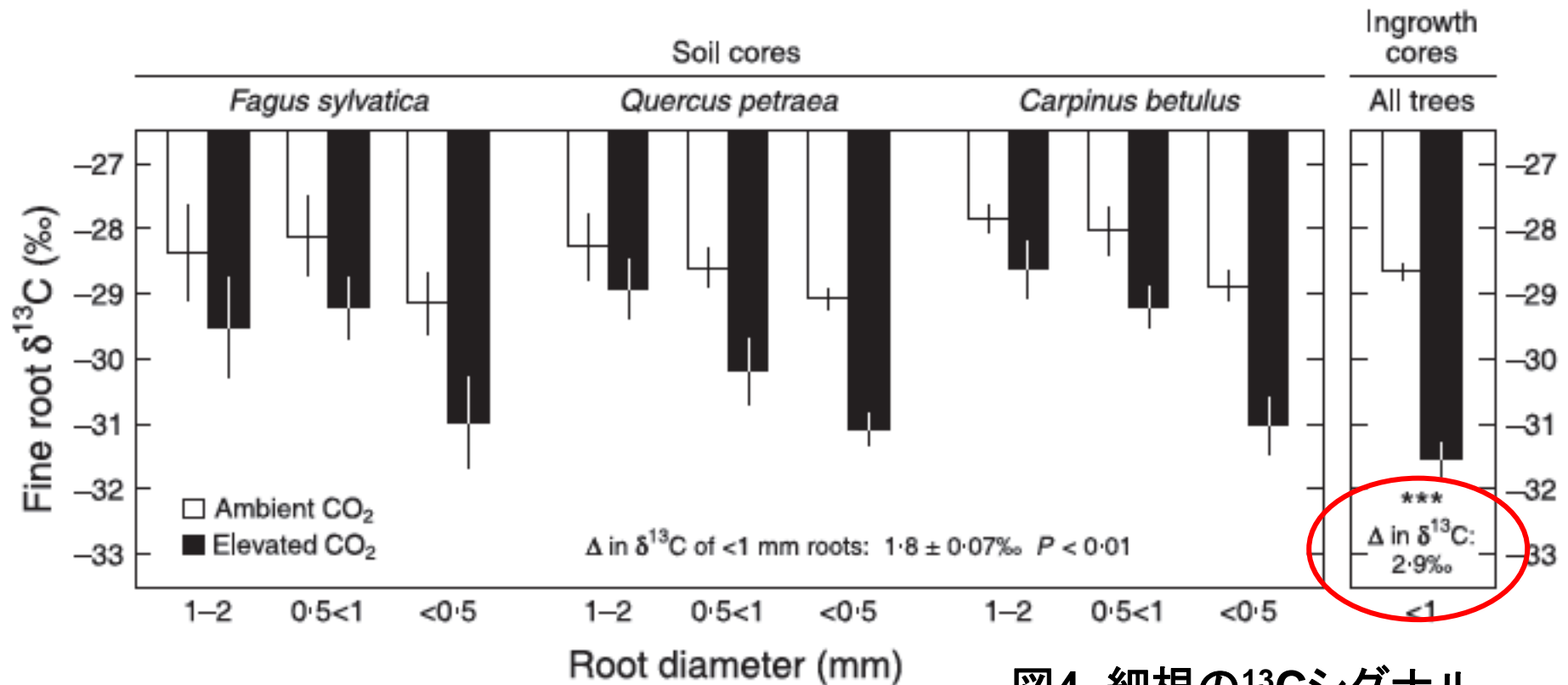


図4. 細根の $^{13}\text{C}$ シグナル

- 特に1mm以下の細根で  $\delta^{13}\text{C}$  が低下
- Keel *et al.*(2007) より、ターンオーバー終了時に対照区と高 $\text{CO}_2$  区で樹木内の  $\delta^{13}\text{C}$  の差は5.7‰と推定し、 $2.9 / 5.7 \times 100 =$  約51%の炭素が6年間で入れ替わったと算出できる

# Discussion

[細根バイオマスへの影響]

- SCC Web-FACE

高CO<sub>2</sub>暴露による細根バイオマスの減少傾向

Root biomass decreased under elevated CO<sub>2</sub>.

- ◆ 養分不足に伴う根系への投資は見られず
  - ・・・富栄養な立地のためか？ (20-25kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)
- ◆ 菌根形成の増加 (+47%, Treseder 2004) による炭素浪費
- ◆ 土壌含水率が恒常的に高まる・・・蒸散の抑制などに伴い水消費量が減少し、結果として細根が減少

# Discussion

## 〔細根バイオマスへの影響〕

- Oak Ridge FACE
  - ◆ 高CO<sub>2</sub>暴露9年目でSweetgum (*Liquidambar Styraciflua*) の細根バイオマスが2倍に増加、ターンオーバーは減少 (Norby *et al.* 2004; Iversen *et al.* 2008)
- Duke FACE
  - ◆ Loblolly pine (*Pinus taeda*) では影響を見られず (Matamala & Schlesinger 2000) ▪ ▪ ▪ CO<sub>2</sub>暴露6年目で地上部のBA増加 (+13-27%) & 細根バイオマス増加 (+23%、有意でない) (Moore *et al.* 2006; Pritchard *et al.* 2001,2008)、リター堆積により地表からの蒸発量が減少したことで土壌含水率が高まる (Schäfer *et al.* 2002)

# Discussion

## 〔細根バイオマスへの影響〕

- Florida scrub oak FACE
  - ◆ 高CO<sub>2</sub>暴露7年目で細根 (<0.25mm) バイオマスが32%減少 (Dilustro *et al.* 2002; Day *et al.* 2006; Brown *et al.* 2007)
- Swiss Central Alps tree line FACE
  - ◆ European larch (*Larix decidua*) と Mountain pine (*Pinus uncinata*) の細根成長が減少 (Handa, Hagedorn & Hättenschwiler 2008)
- Nevada desert FACE
  - ◆ 低木群落の細根動態には高CO<sub>2</sub>による影響が見られなかった (Phillips *et al.* 2006)

# Discussion

## 〔細根内CN比への影響〕

- 細根内のCおよびN濃度

高CO<sub>2</sub>環境下で発達する植物細胞はCN比が増加する報告もある (Cotrufo *et al.* 1998; Norby *et al.* 1999) が、**細根のCN比は高CO<sub>2</sub>暴露による影響を受けない**

※ 他のFACE実験でも同様の結果 (Handa *et al.* 2008; Iversen *et al.* 2008)

# Discussion

[細根内  $\delta^{13}\text{C}$ より]

- $\delta^{13}\text{C}$ から $\text{CO}_2$ 暴露6年目で51%の炭素が入れ替わっていると推定でき、この細根のCプールは約12年周期でゆっくり入れ替わっている

# Conclusions

本研究および複数の高CO<sub>2</sub>暴露実験より

- 資源要求に応じて、高CO<sub>2</sub>環境下で細根バイオマスは変化しない、あるいは減少さえする

Our findings & those from several other CO<sub>2</sub> enrichment experiments studying woody plants suggest that unaltered or even reduced fine root biomass may meet plant resource demands under elevated CO<sub>2</sub>.

- 蒸散減少などによって樹体内の水利用が節約され、結果として将来は遷移後期の温帯林は細根への投資減少が生じる可能性
- 炭素貯留の度合いは、細根バイオマスの増加やターンオーバーの加速次第であるが、森林土壌に大きな炭素貯留が形成される証拠は示せなかった