

高CO₂環境に対する森林樹木の応答 (高CO₂ と窒素負荷の影響)



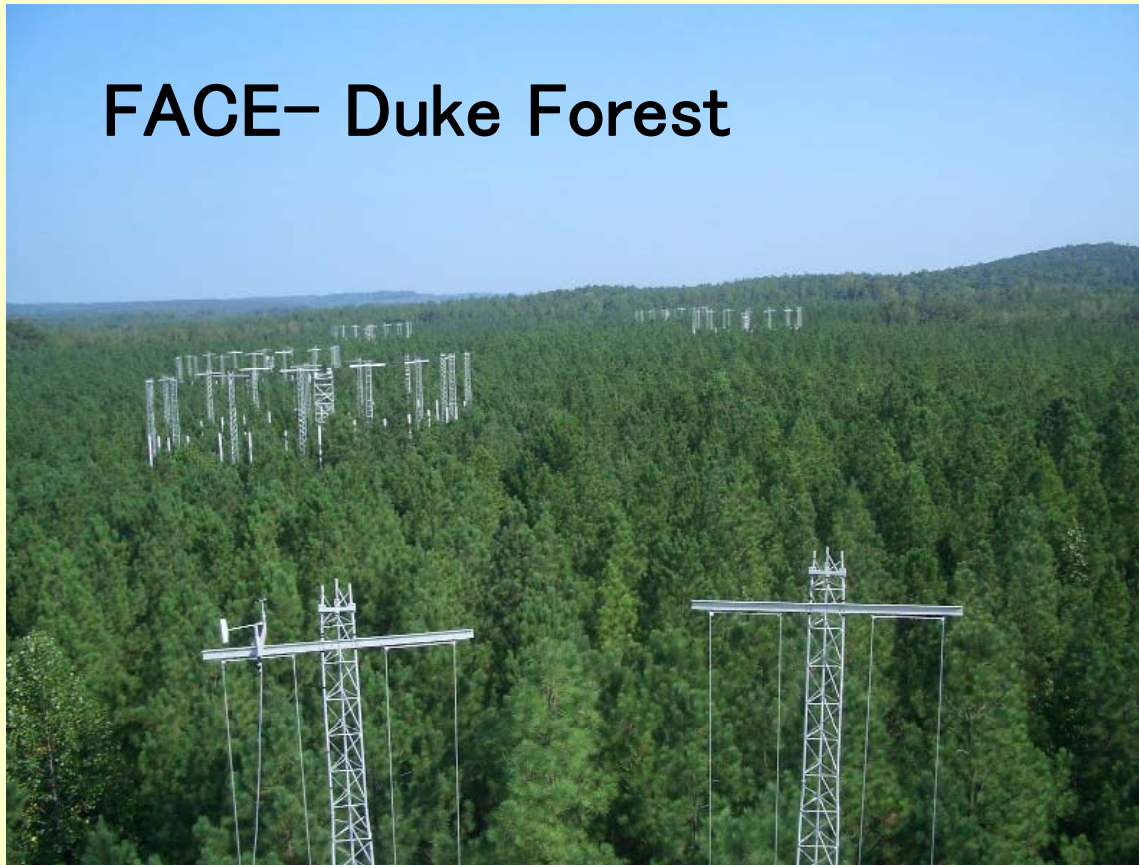
小池孝良

北海道大学農学部
造林学研究室

北大FACE

研究の契機

FACE- Duke Forest



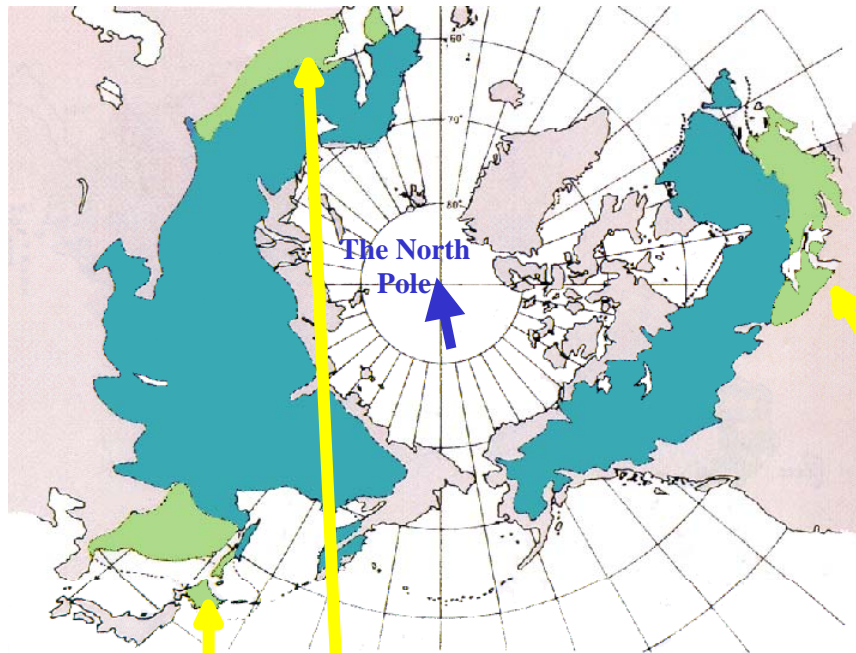
Dr. Ram Oren

2001年 第6回日米セミナー
アジアでのFACE研究の重要性が指摘
(高木・小池 北方林業54: 18-21)

(江口則和提供)

環境モニターのために

なぜ、針広混交林を対象とするのか？



- 北方針葉樹林
- 針広混交林
- 温帯林

植物は
属レベルで共通

中央ヨーロッパ - 黒色土壌 富栄養

北アメリカ - カナディアンシールド 貧栄養

北日本

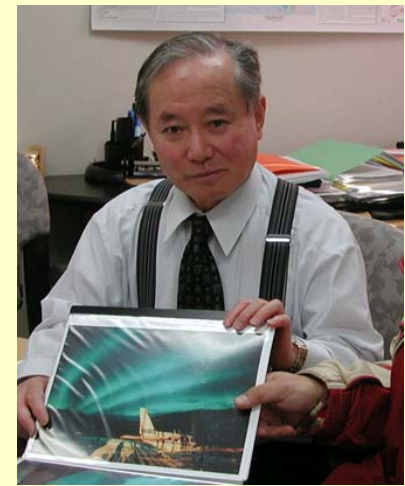
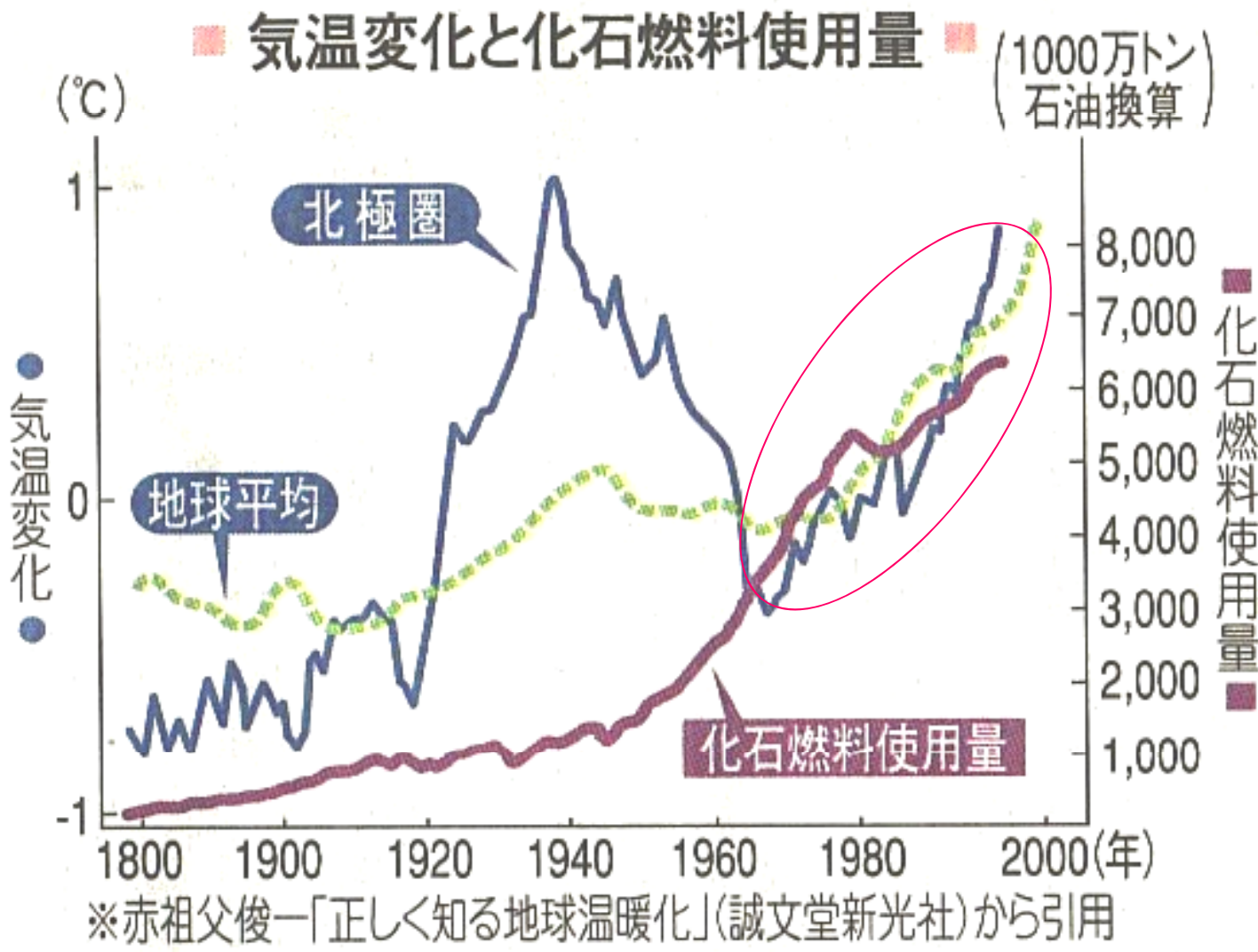
- 未成熟火山灰土壌
(リン酸欠乏)

話 題

1. 大気CO₂と栄養(窒素)環境の変化
2. CO₂と温暖化の影響
3. 個葉レベルの応答と負の制御
4. 個体レベルの応答
5. 群集レベルでの応答・・・虫害／共生菌類
6. 環境変動の森林への影響

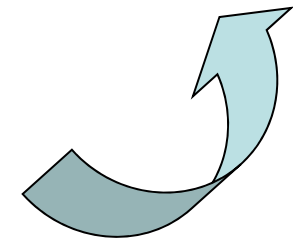
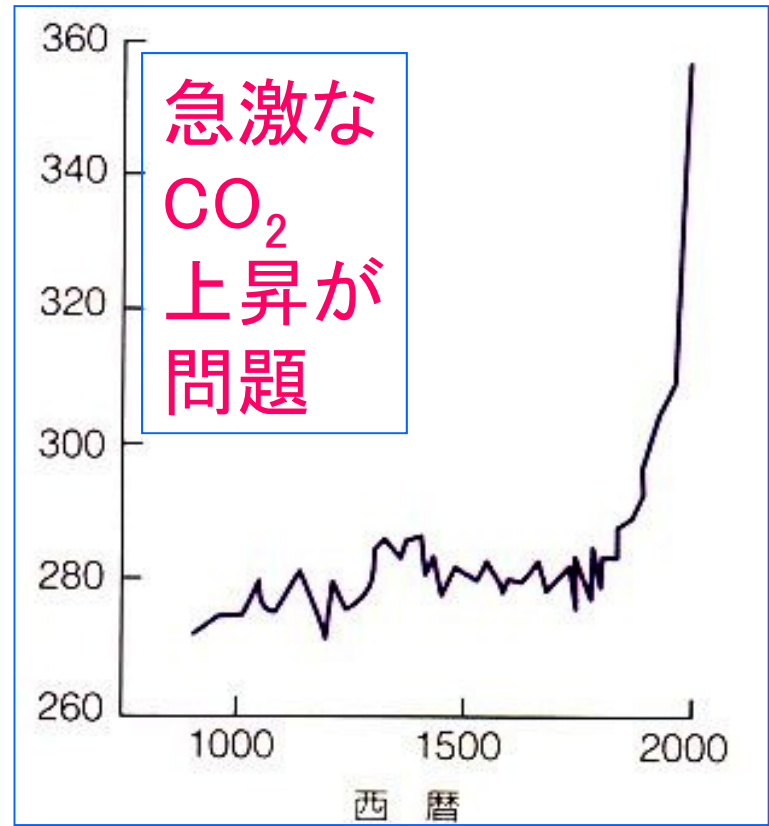
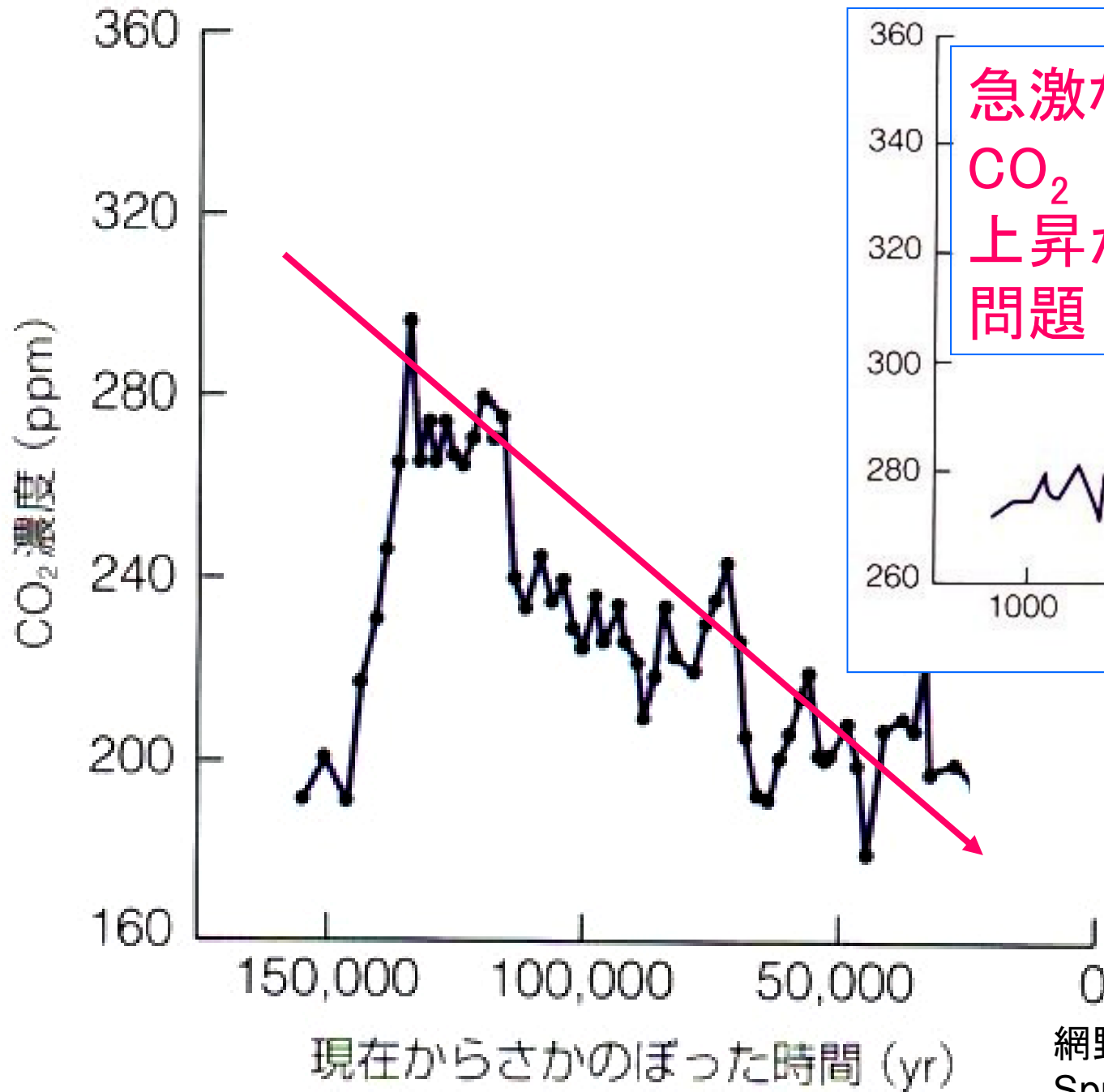
参考文献

小池孝良(2006) 伊豆田猛編著 植物と環境ストレス、コロナ社



アラスカ大学
極域研究所
元所長

極域では気温変化 →
化石燃料の消費量と対応しない時期あり

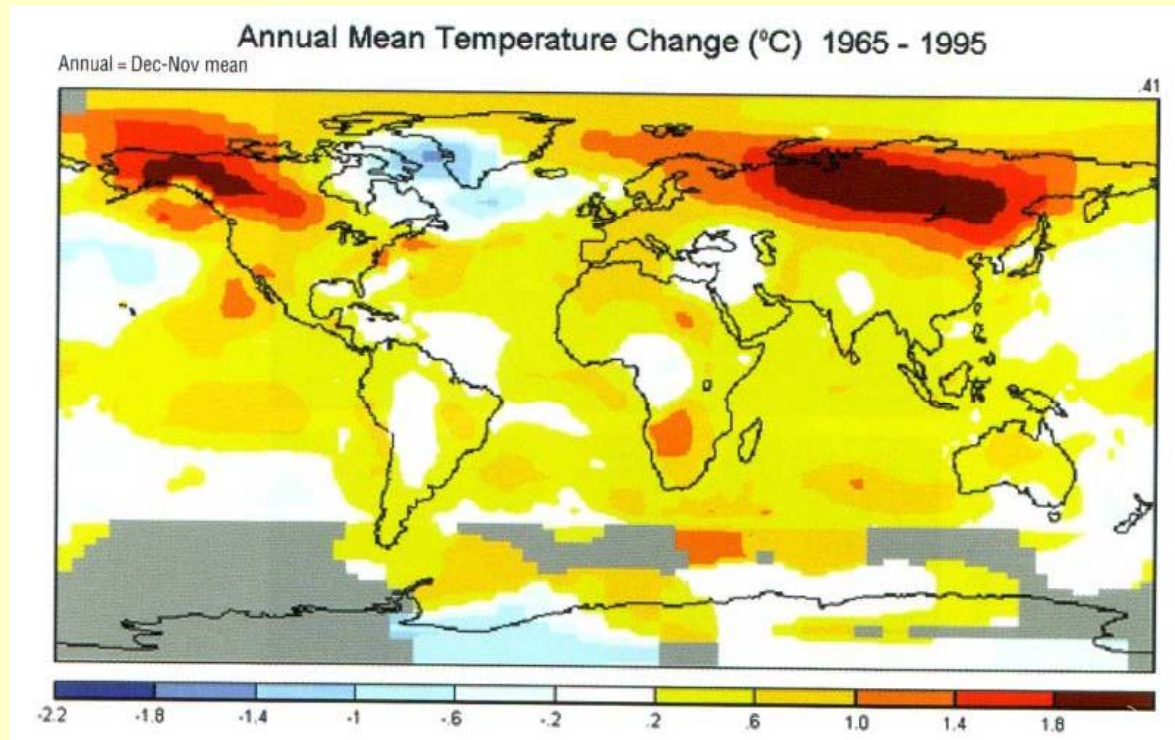


網野ら1999, 植物生理学
Springer Tokyo

2. 温暖化の影響

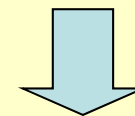
2. 1. CO₂の変遷と生産力

- ＞ 大気中CO₂濃度の増加速度が急激
→ 植物は追従できない？
- ＞ 中高緯度では気温が上昇する
→ 30年間では2°C近く上昇)



光合成速度
換算(戸塚1966)

1960年代
310ppm

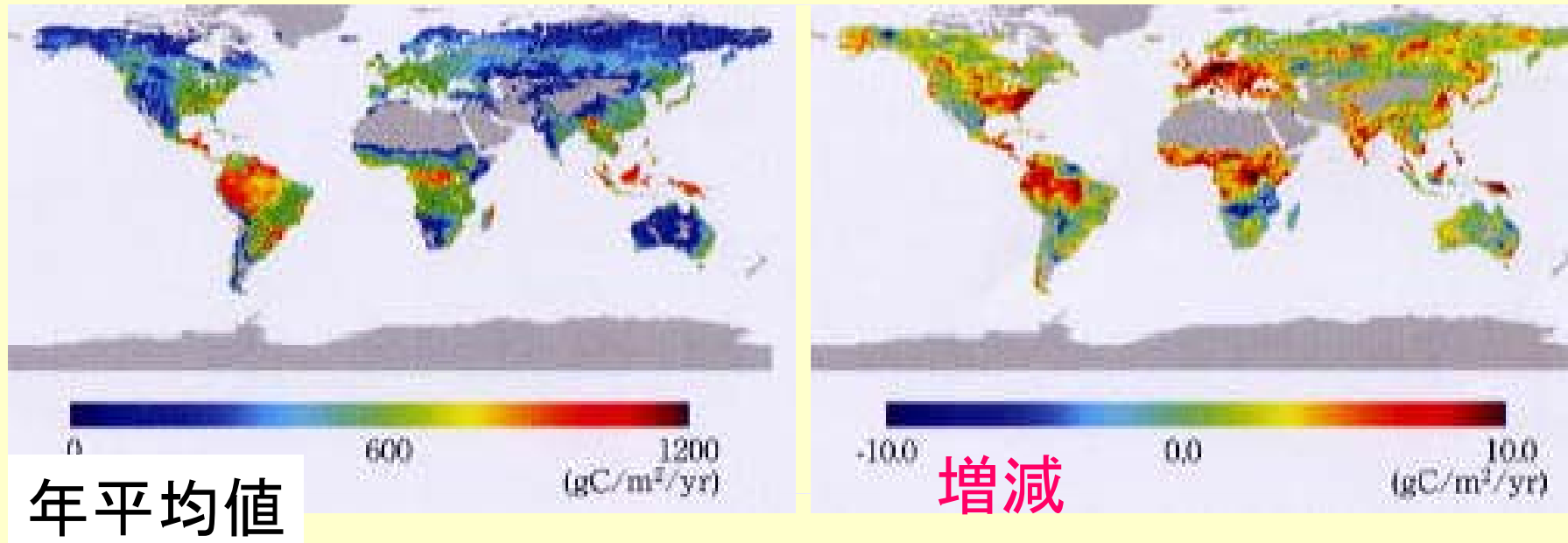


2000年代
380ppm

(Springer 2001)

2.2. 「緑が濃くなりつつある地球」

— 中高緯度の生産力が増加



陸域植物による

1980年以降の純一次生産量の年平均値(左)と増減(右)
(Sasai et al., 2005)。年平均値は熱帯雨林で大きい。
世界全体では純一次生産量も増加していることがわかる。

佐々井崇博 名大環境(http://www.geocities.jp/taka_pre/research/beams.htm)

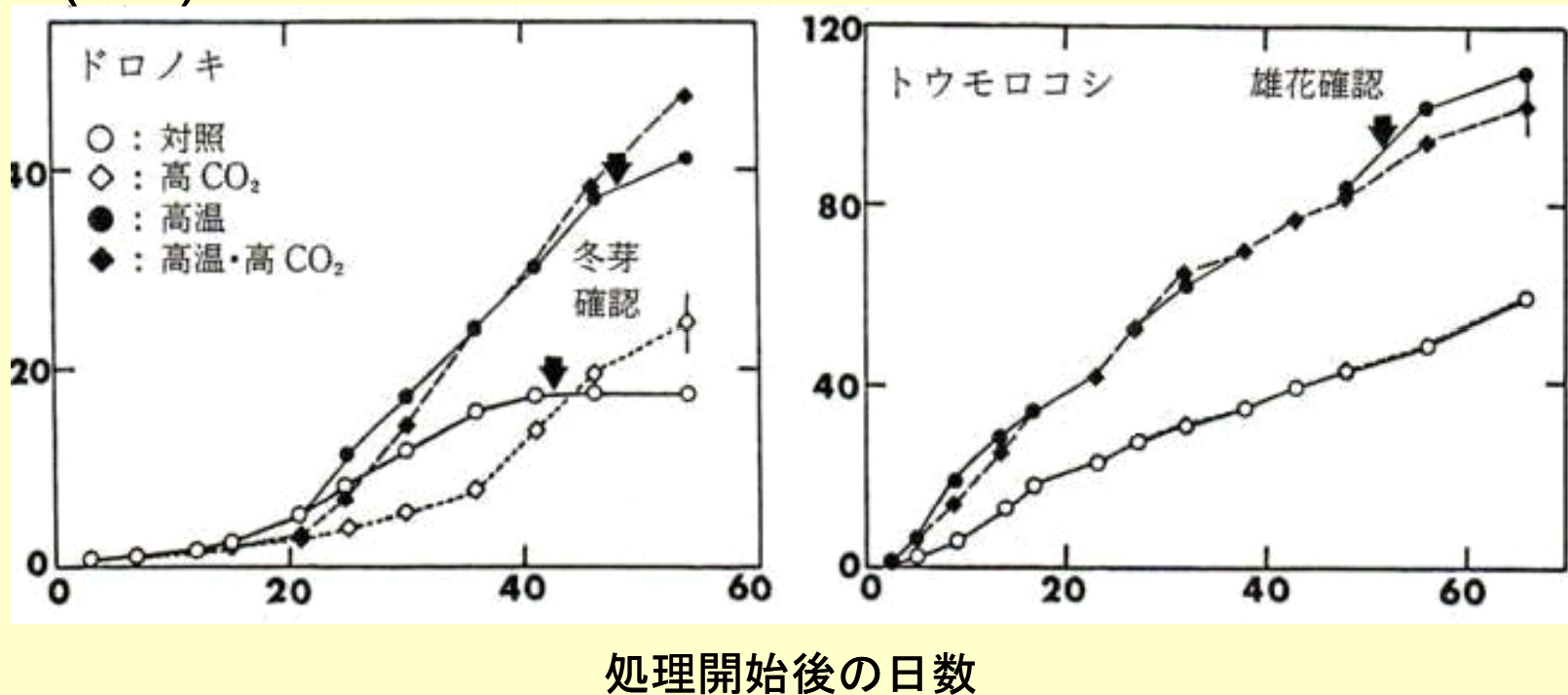
2. 3. C₃とC₄植物



森林総研
北海道支所
～1989

(cm)

主軸の長さ

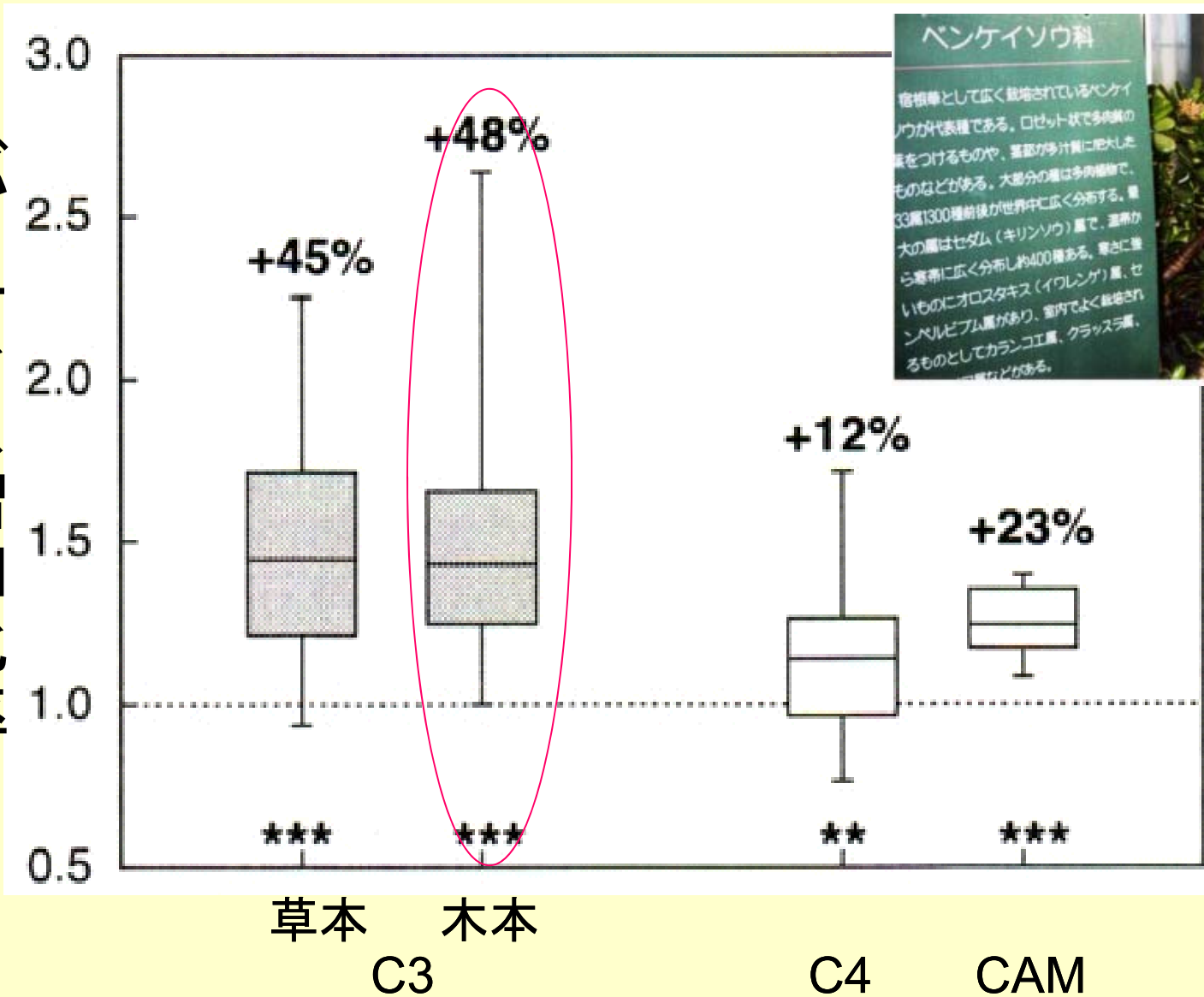


C₃: (ドロノキ) — 冬芽の形成時期が早い
= ホプラ CO₂の影響は初期成長に

C₄: (トウモロコシ) — CO₂の効果無し

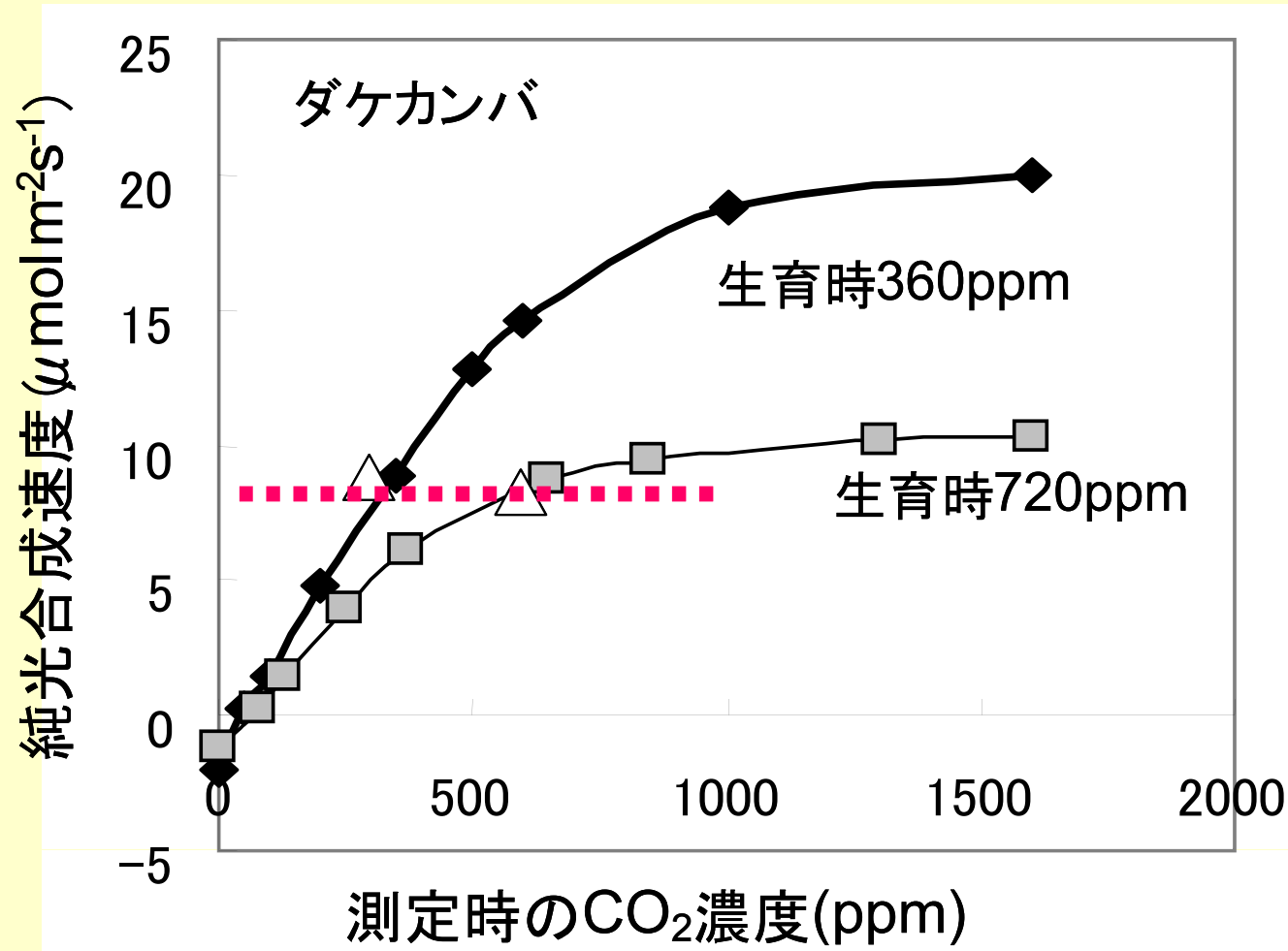
(小池ら1991)

バイオマス増加比率



FACE: 樹木などC3植物の応答はC4の40%増し

3. 個葉レベルの応答 →「負の制御」？

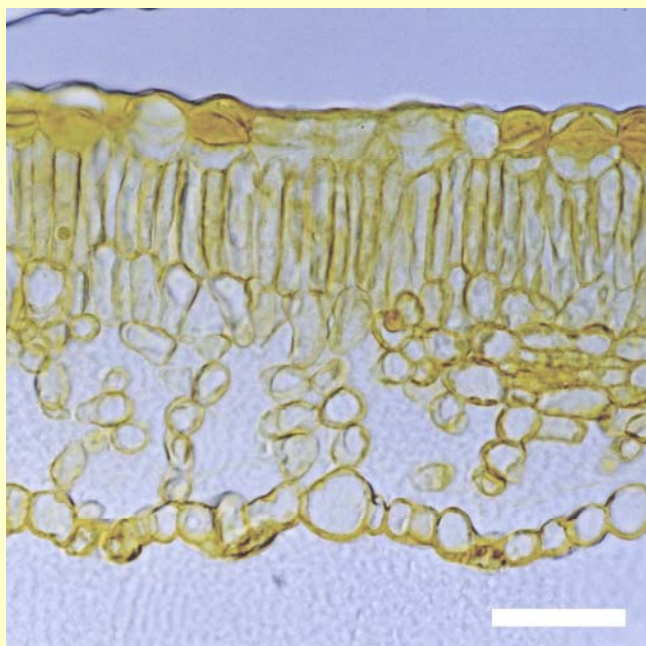


生育時のCO₂濃度で測定すると、ほぼ同じ値を示す
(恒常性維持機能)

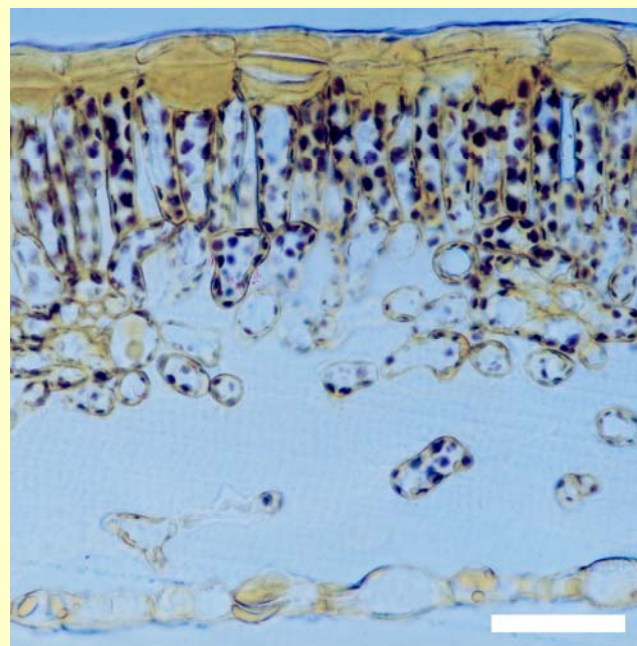
(Tissue & Oechel, Ecology 1986)

なぜ、**負の制御** (Down regulation) が見られるのか?

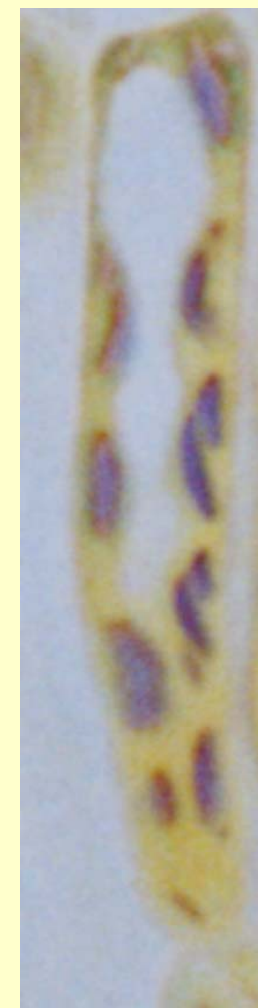
- 1) 葉の窒素の希釈
- 2) デンプン粒の過剰蓄積
- 3) 酵素(量)活性の低下



360ppm



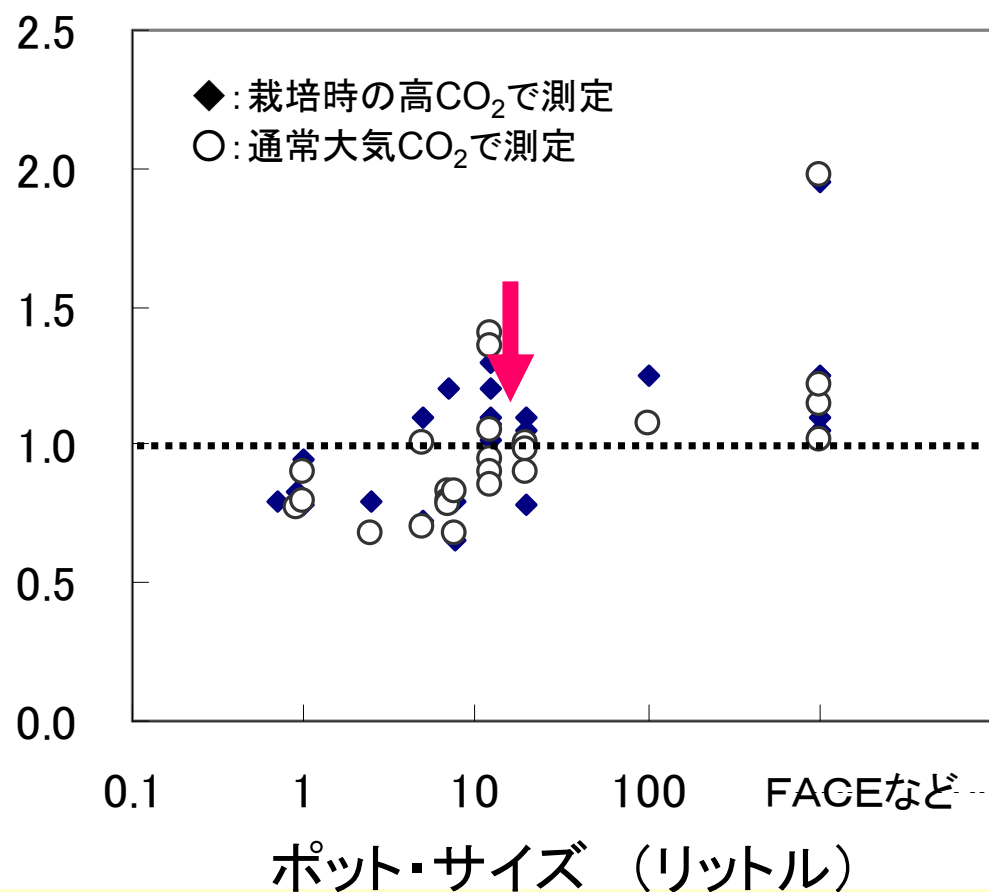
720ppm



(Fukatsu & Funada 2002)

4. 問題点と研究方法の変遷

光合成反応の比



植え付けポット50リットル
(バイエルン環境研)

(伊豆田 編著
2006)

「負の制御」——全てはポット・サイズ効果？ Arp, W.J. (1991)
→ 従来のCO₂影響の研究の多くは、制御環境で実施

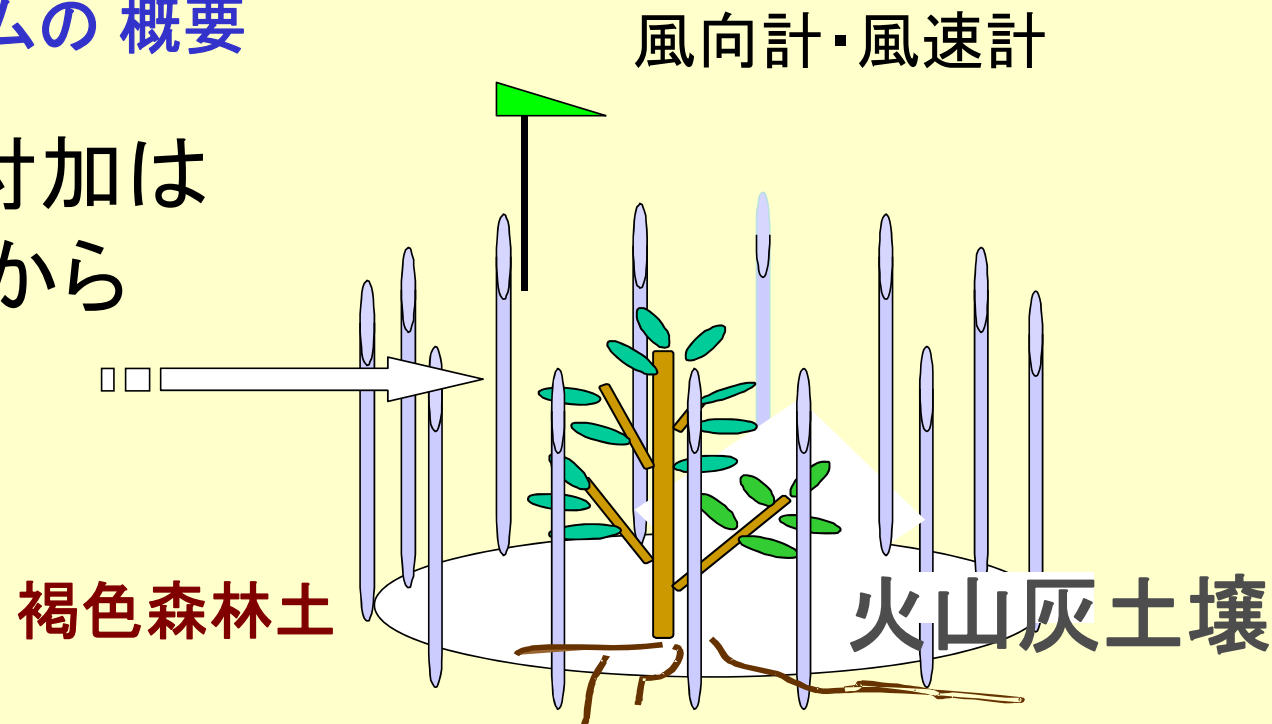
4. 2. FACEの導入

(Free Air CO₂ Enrichment: 開放系大気CO₂増加)

温度上昇の効果は模倣できないが、
CO₂付加の効果は自然に近く予測できる

システムの概要

CO₂付加は
風上から



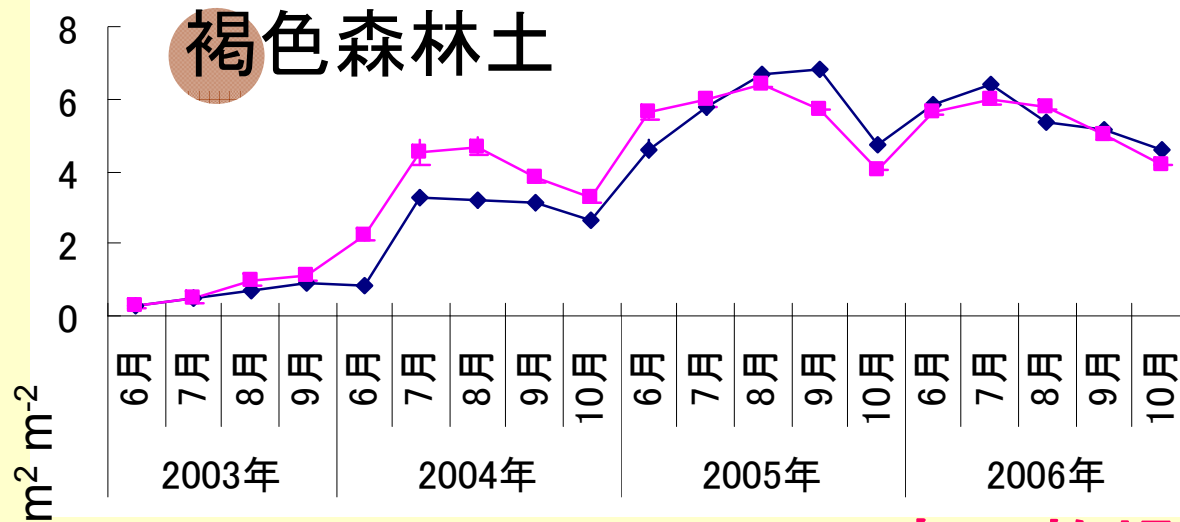
根の成長制限は無い

LAI(葉面積指数:単位面積当たりの葉面積)の季節・年変化

3反復

◆ 対照区 ■ 高CO₂区

CO₂処理の
LAIへの効果



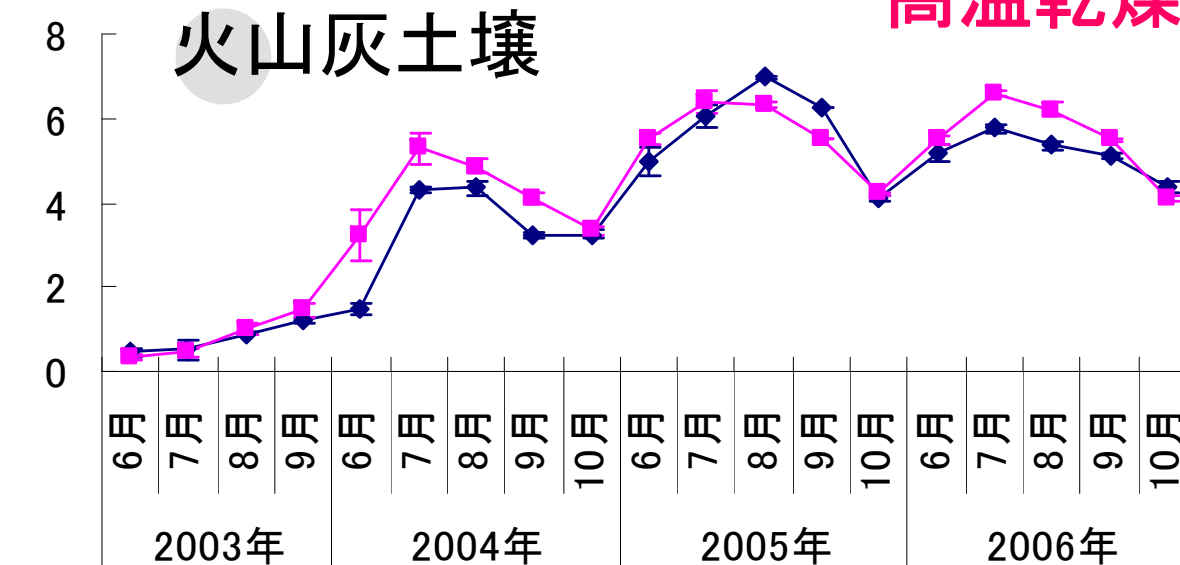
03年: 差は小

04年: 高CO₂で増加!

05年: 高CO₂で
虫害の影響大
(火山灰区顕著)

06年: 対照区で
7→8月に低下
(火山灰区顕著)

高温乾燥



→ 水利用効率 上昇

(Eguchi et al. 未発表)



成虫



幼虫

- ・ハンノキ類はなぜ死んだのか？
- ・食害は将来増加するか？

6. 樹木/森林の応答—生物多様性の視点—

1) 被食防衛 虫に食われない 準備と手当



トリコーム(毛状体)

<化学的防御>

<質的防御> (低分子)

- ・カラシ油配糖体
- ・アルカロイド

<量的防御> (高分子)

- ・縮合タンニン
- ・総フェノール

草本植物

<物理的防御>

- ・葉の堅さ
- ・葉の厚さ
- ・トリコーム(毛状体)

木本植物

(松木・小池2005)

生物検定

広食性の実験用動物

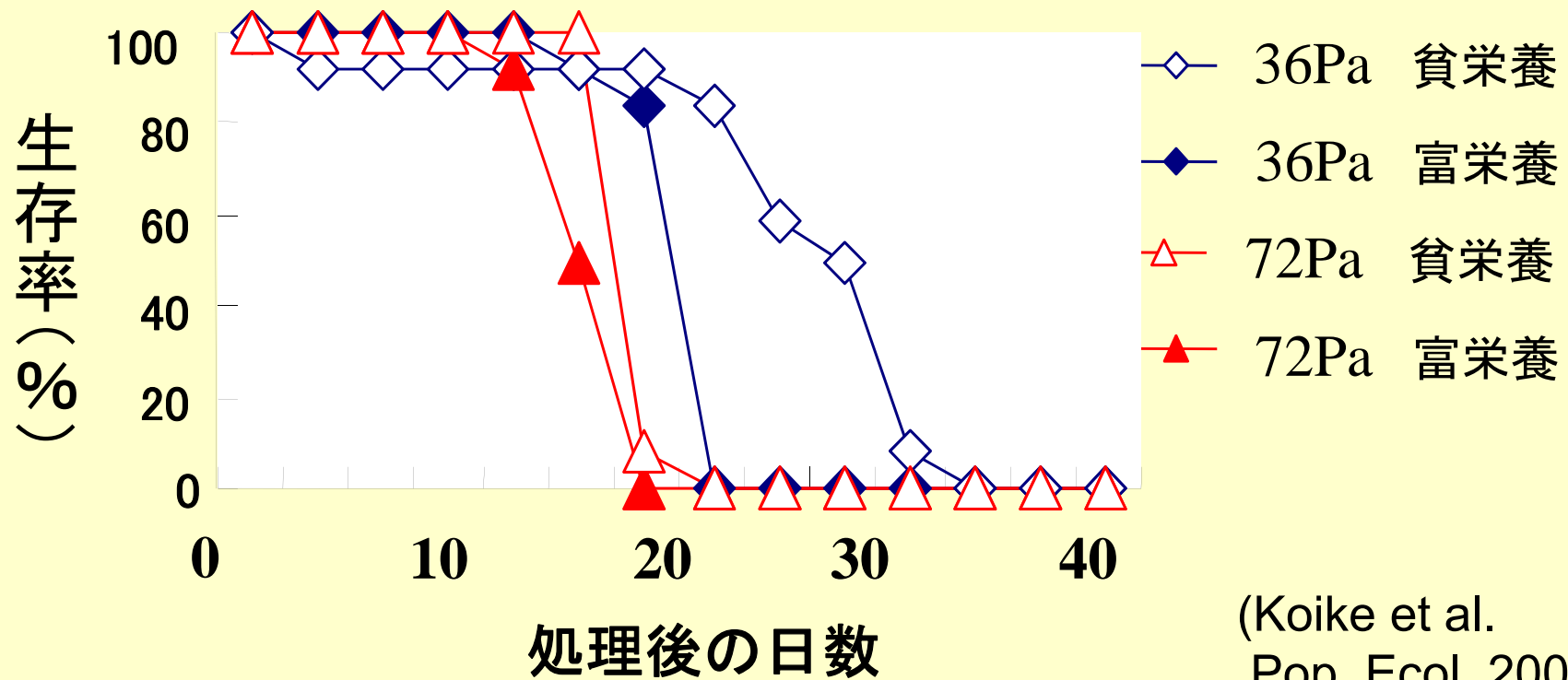
微量な物質も総合的に、相対的に
評価させる・・・(強制摂食試験)



今野浩太郎
開発

ヤママユガの一種:エリサン
(*Samia cynthia ricini*)

エリサンへの給餌試験の結果



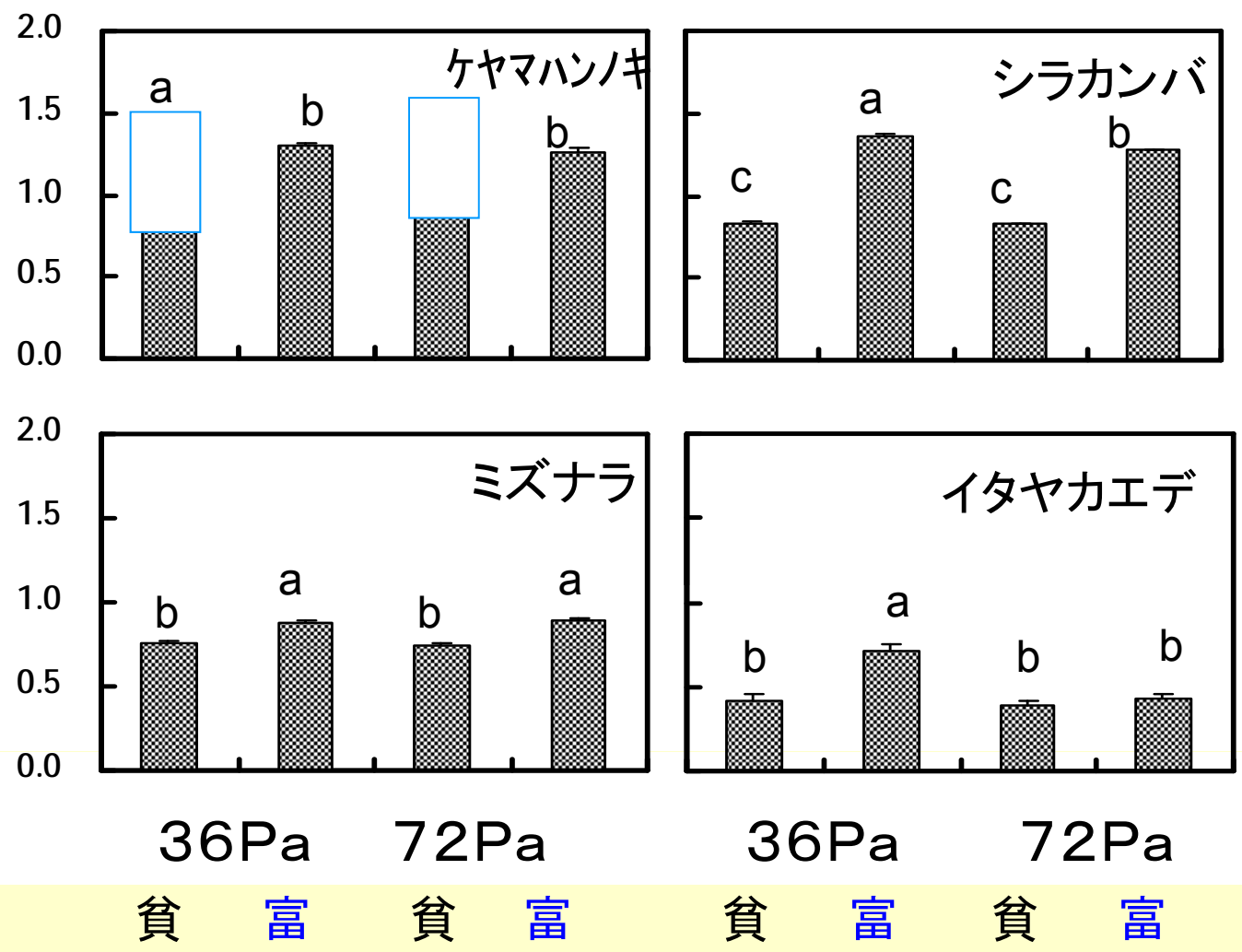
(Koike et al.
Pop. Ecol. 2006)

貧栄養 + 高CO₂では、エリサンの寿命が延びた！

葉の窒素栄養が改善された

値が高いと「葉の質」が良い

エリサンの平均寿命(半減日)

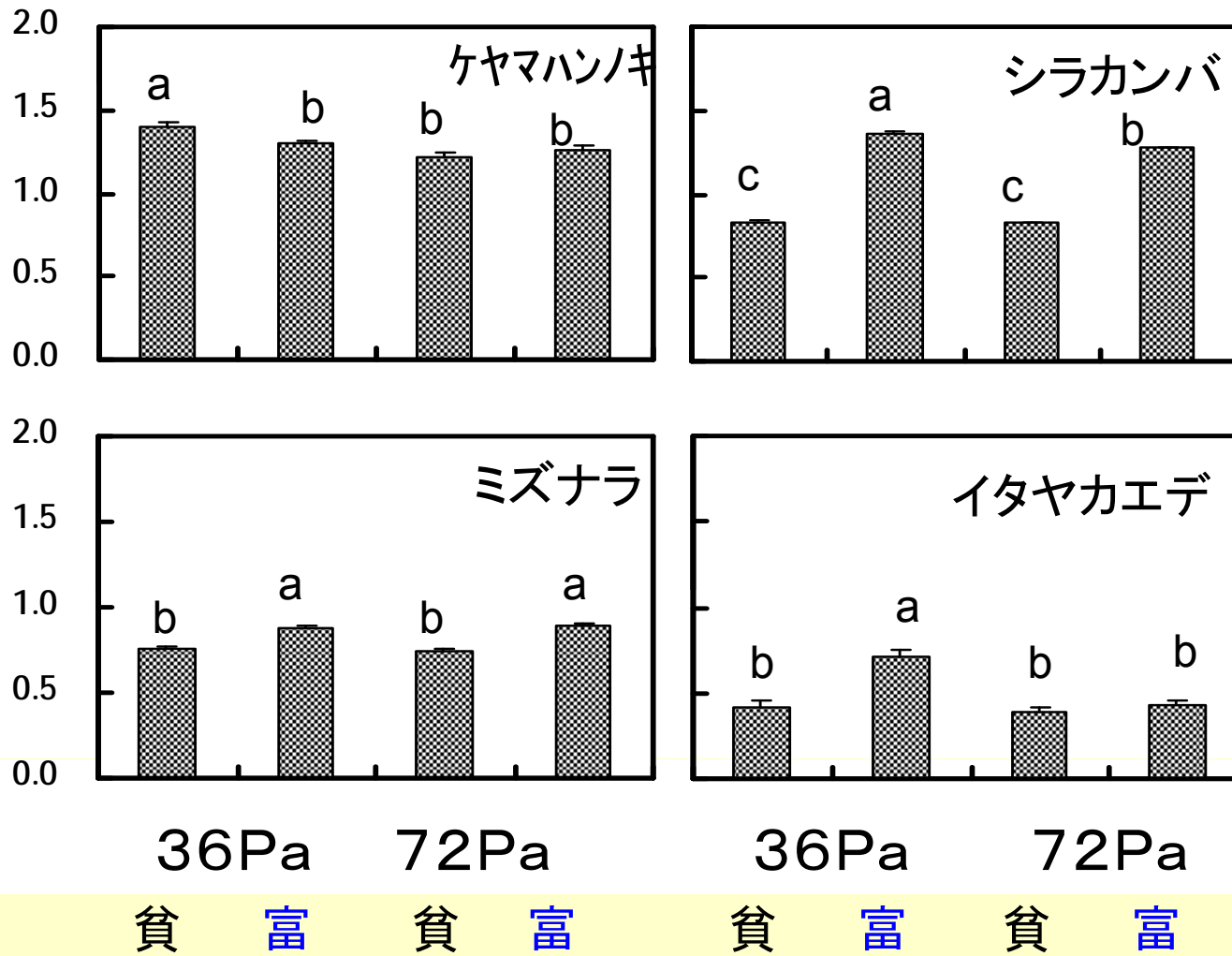


予想では

貧栄養で寿命が短い (+CO₂)

値が高いと「葉の質」が良い

エリサンの平均寿命(半減日)



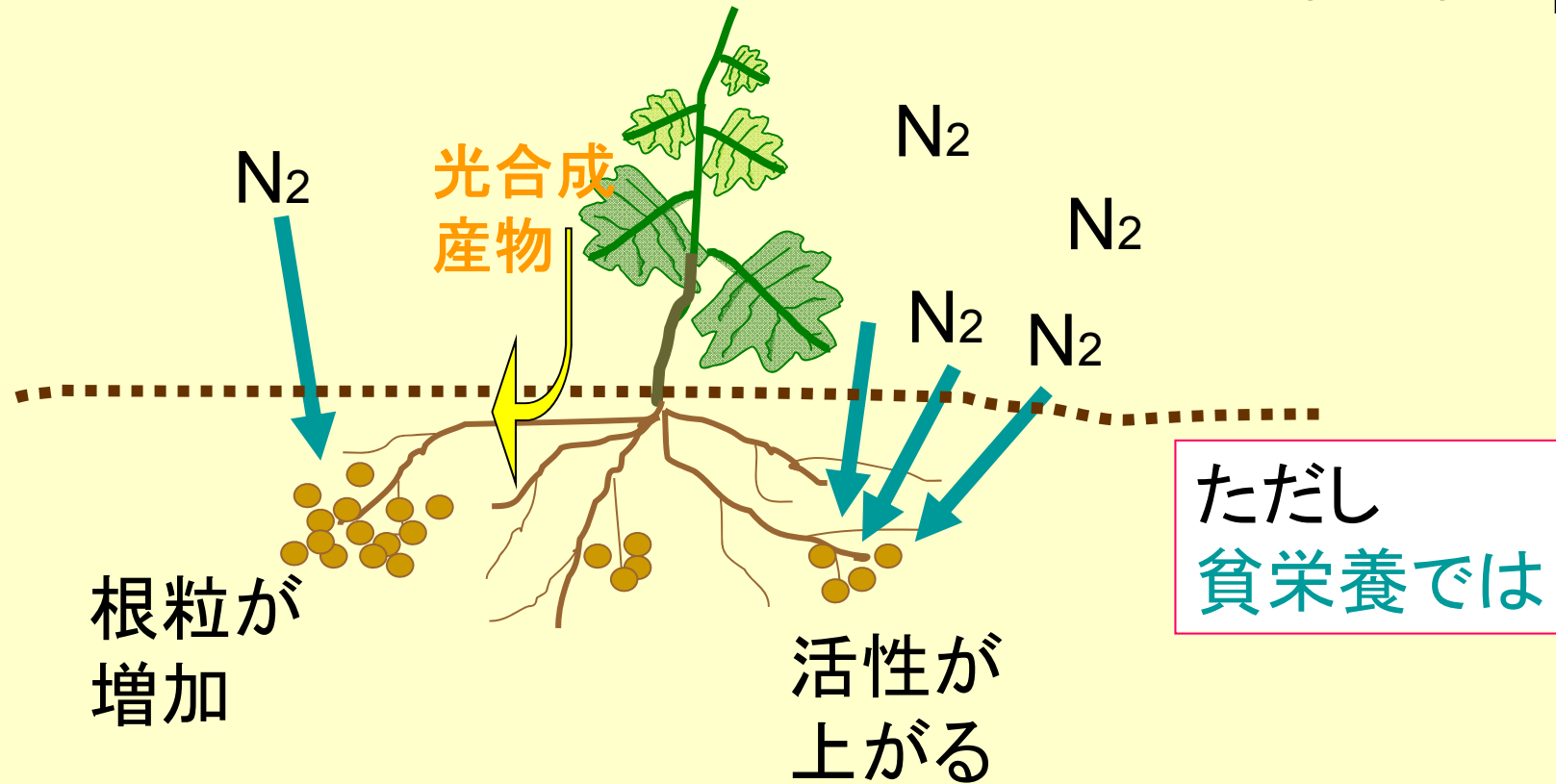
ケヤマハンノキ以外、貧栄養で寿命が短い(+CO₂)

遷移初期種のケヤマハンノキ・シラカンバで長く

遷移後期種のミズナラ・イタヤカエデで短い

高CO₂条件下では？

共生的窒素固定菌
Frankia sp.

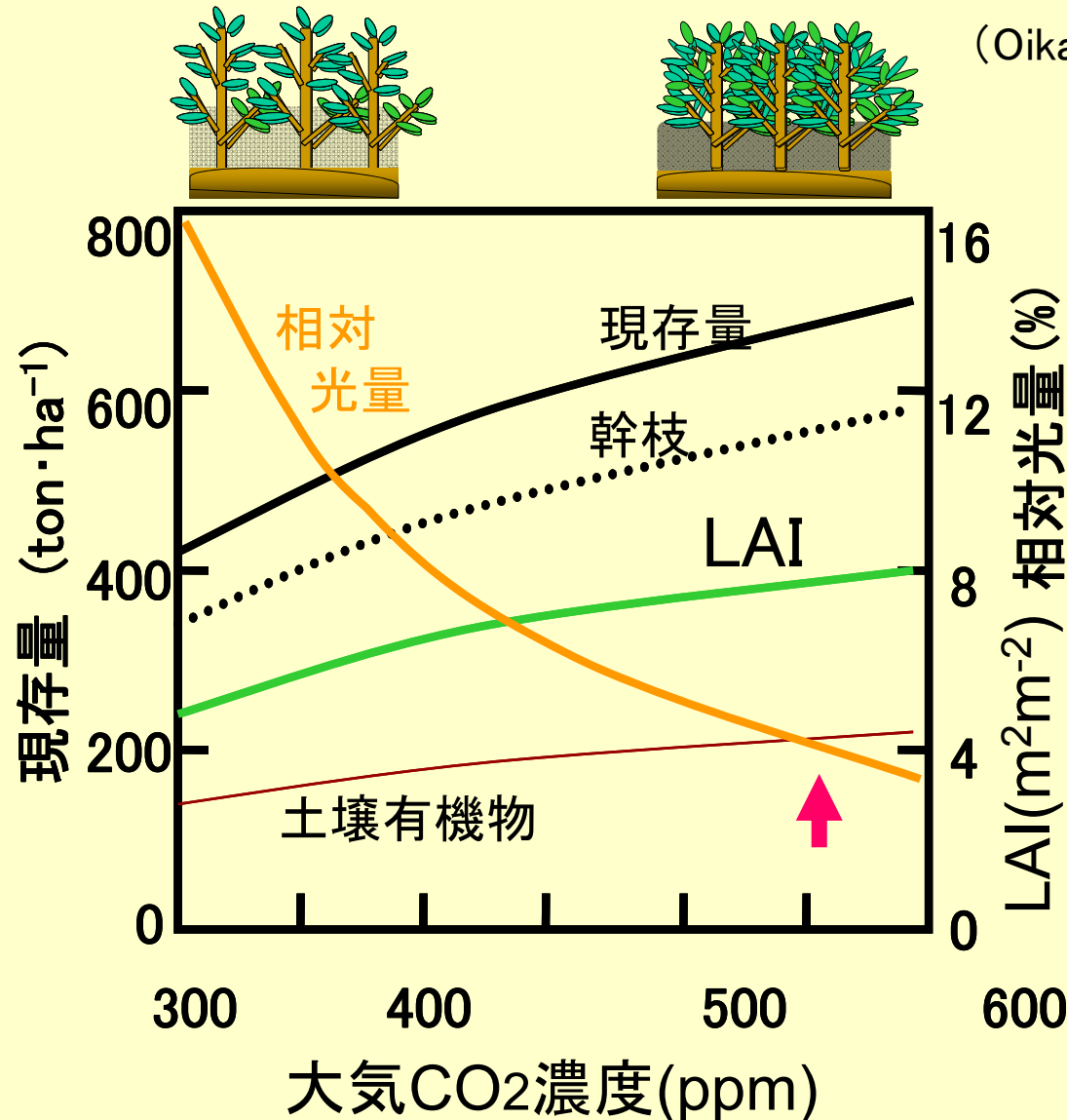


高CO₂では、共生菌類 (*Frankia* sp.) の窒素固定活性が増加 (アセチレン還元能が増大: $C_2H_2 \rightarrow CH_4$) する。

6. 森林 1) 階層構造 (生物多様性への影響)

温暖化環境の熱帯林では下層植生が消滅？

(Oikawa 1986; Bot. Mag. Tokyo 99: 419-)



上層の木の
枝分れが増え
葉が茂る

更新稚樹

生存不可能に

LAI (面積当たり葉面積)

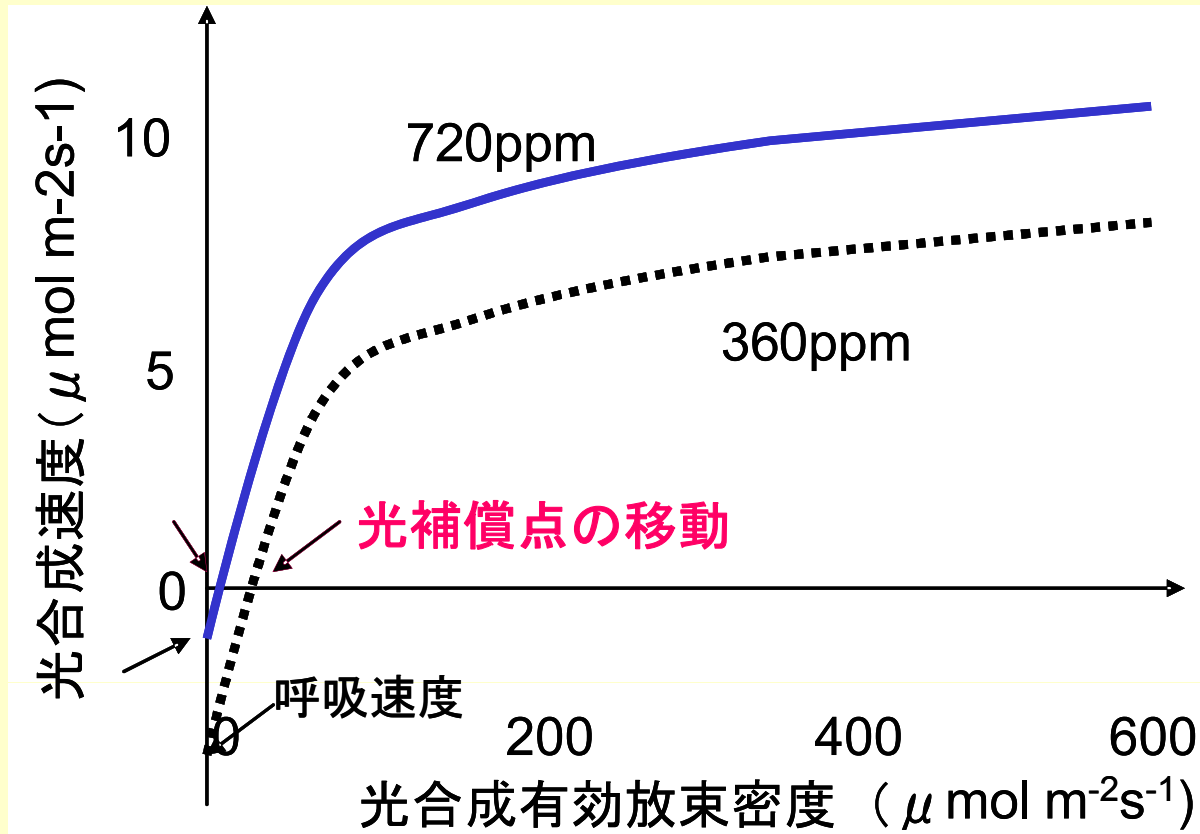
分枝の増加

(Koike et al. Pl.Sp.Biol.1995)



高CO₂処理で葉量が増加

高CO₂条件では、上層木の葉が繁茂し、
下層へ到達する光量が減少する→
更新稚樹の生存不可、**生物多様性の危機？**



光補償点の
暗環境側への
移動
(光呼吸速度
抑制?)

イタドリ...
(彦坂等)

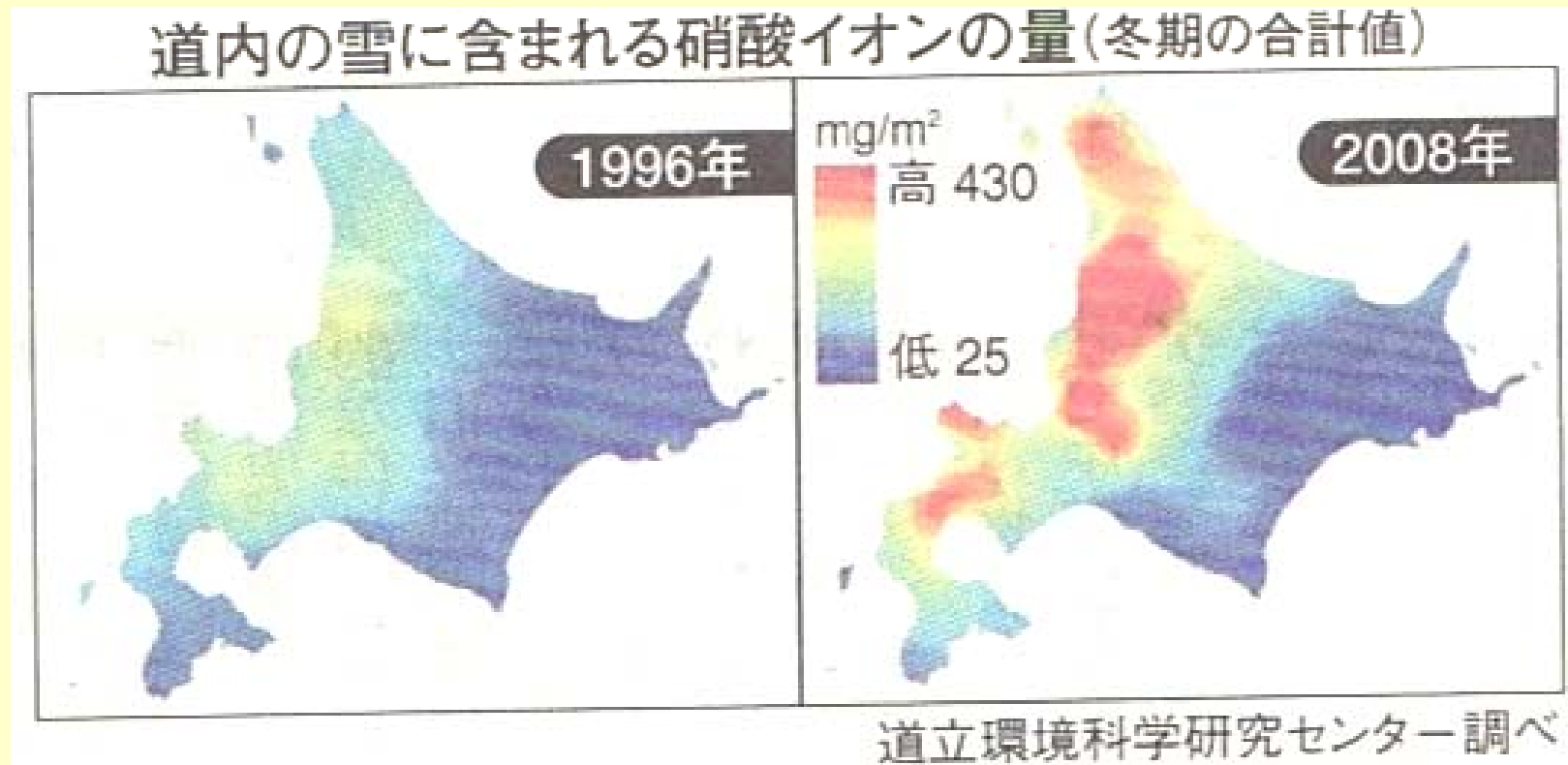
北大FACE + 人工気象 (Hida et al. in review)



摩周湖外輪山のダケカンバの衰退

7. 環境変動の影響

NO₂濃度と森林衰退を引き起こすオゾン濃度上昇



1996年と2008年の比較；

日本海側では、182から322 mg·m⁻²へ。

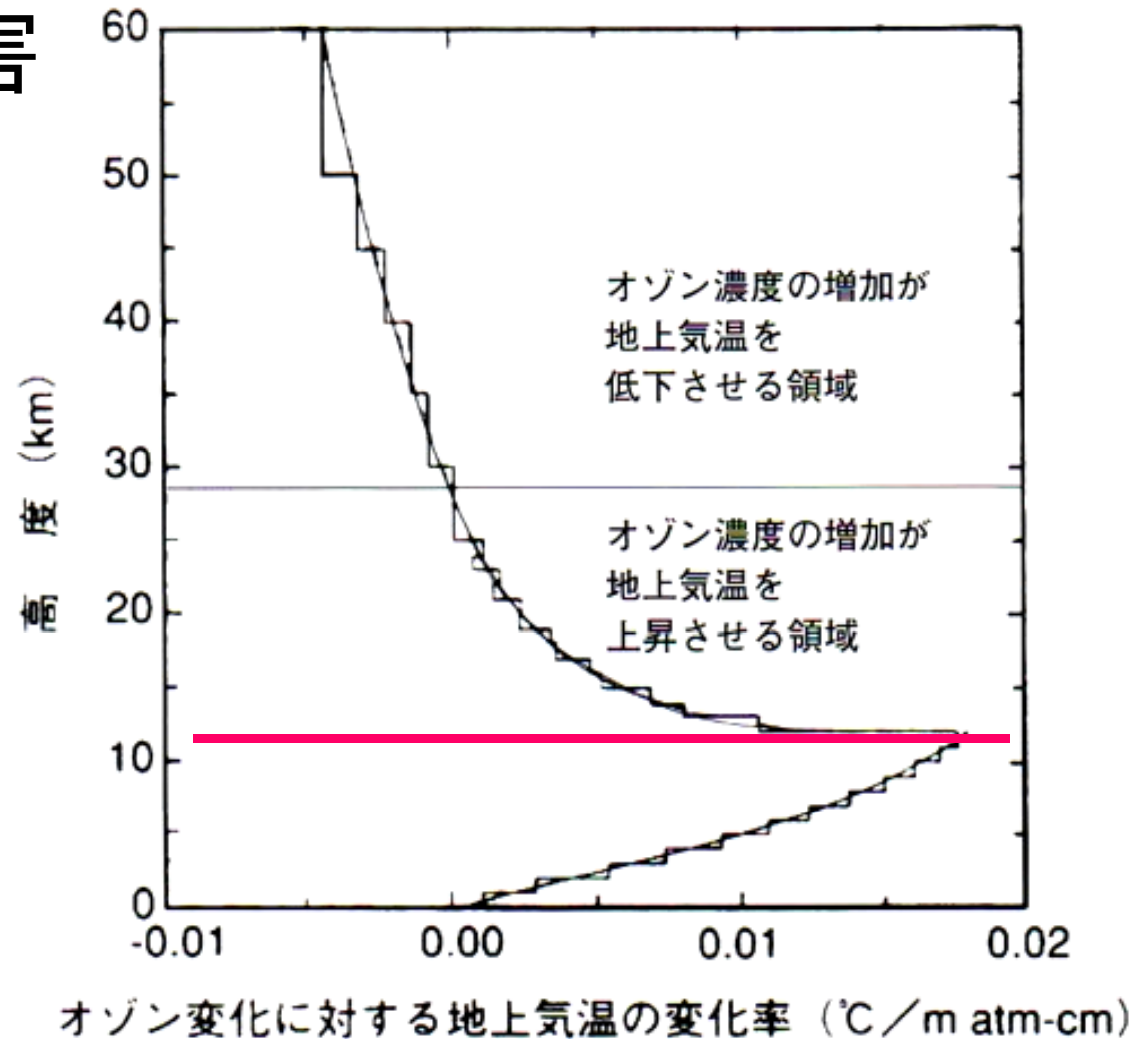
偏西風によって中国・山東省？付近から運搬か！

対流圏オゾン傷害

オゾン：
約90%は成層圏
(有害紫外線を遮断)

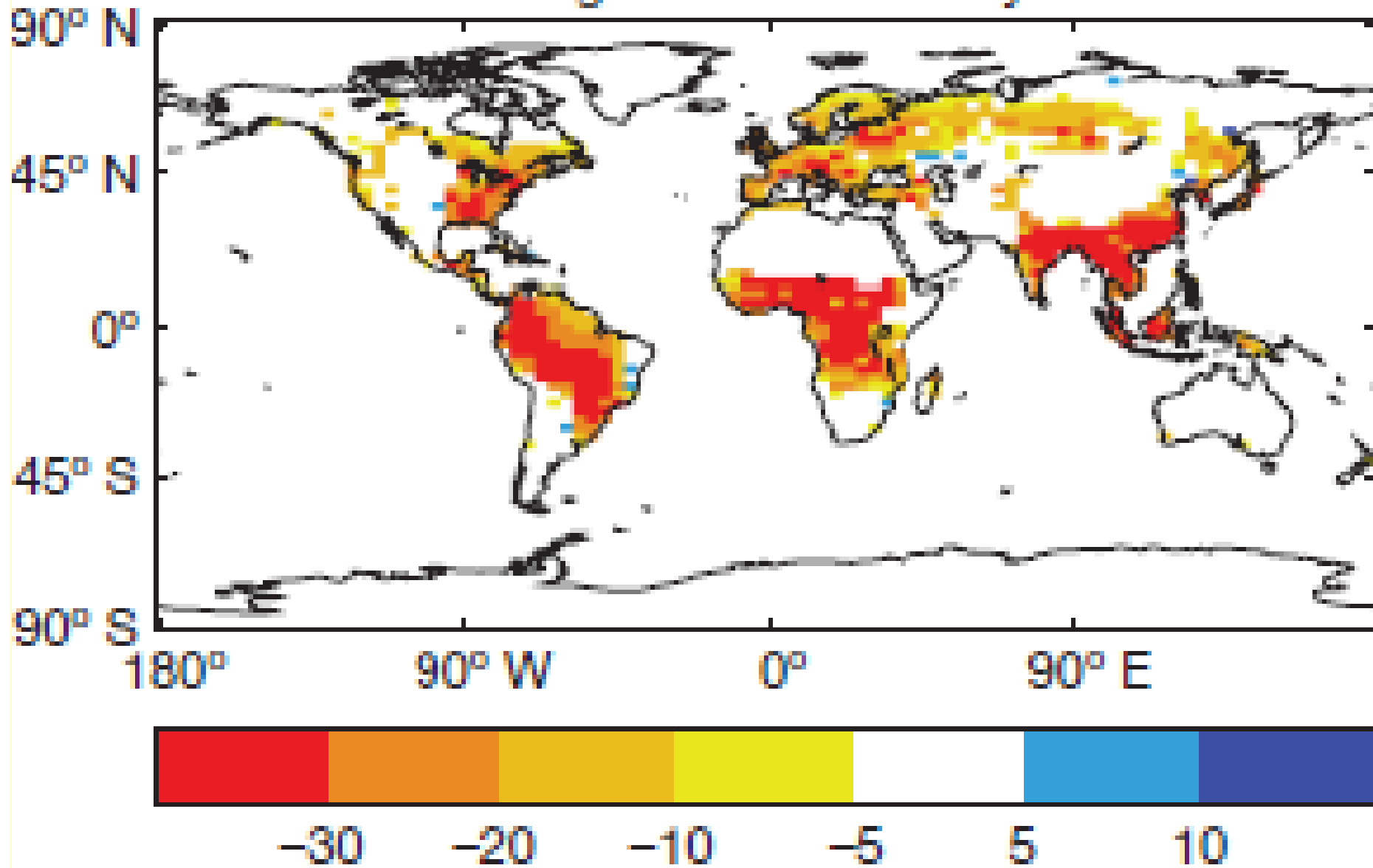
10%は対流圏
(紫外・赤外域に
吸収帯)

10 μ m 付近の
赤外線吸収



- ・対流圏オゾンは CO_2 , CH_4 に次ぐ温室効果ガス
- ・地上10km付近で最大になる

High ozone sensitivity



(Nature2007)

Change in GPP due to O₃ (%)

まとめ

1. 樹木はC3植物なので高CO₂の影響を受ける
2. 落葉樹は高CO₂環境に順化する
3. 「負の制御」が生じる原因は、
 - 1)樹体窒素濃度の希釈、2)酵素の量、活性の低下、
 - 3)光合成産物(デンプン)の過剰集積
4. 高CO₂条件での蒸散抑制に伴う道管径の変化
→木部構造の変化
5. 群集レベルへの影響
植食者、共生菌類
6. 複合「汚染」の生態系影響:窒素沈着、オゾン

謝 辞

予算：文科省特定研究「人・自然・共生プロジェクト」
科学研究費補助金（基盤研究A,B, 萌芽）
新学術領域研究
「植物生態学・分子生理学コンソーシアムによる
陸上植物の高CO₂応答の包括的解明
（代表：寺島一郎）」

研究：森林総合研究所北海道支所
北大北方生物圏フィールド科学センター
・農学研究院 のPDら諸氏
・農学院・農学部
・環境科学院 の学生諸氏