
環境植物学

第13回 高濃度CO₂と植物

渡辺 誠

2018年度 環境植物学 (伊豆田 猛・渡辺 誠)



1. 光化学オキシダントと植物(1): 農作物に対するオゾンの影響 (4月11日, 伊豆田担当)
2. 光化学オキシダントと植物(2): イネに対するオゾンの影響 (4月18日, 伊豆田担当)
3. 光化学オキシダントと植物(3): 樹木に対するオゾンの影響 (4月25日, 渡辺担当)
4. 酸性降下物と植物(1): 樹木に対する酸性雨の影響 (5月2日, 伊豆田担当)
5. 酸性降下物と植物(2): 樹木に対する酸性降下物による土壌酸性化の影響 (1) (5月9日, 伊豆田担当)
6. 酸性降下物と植物(3): 樹木に対する酸性降下物による土壌酸性化の影響 (2) (5月16日, 伊豆田担当)
7. 森林生態系における窒素飽和(1): 森林生態系における窒素飽和現象とその樹木影響 (5月23日, 伊豆田担当)
8. 森林生態系における窒素飽和(2): 樹木に対する土壌への窒素負荷の影響 (5月30日, 伊豆田担当)
9. 森林生態系における窒素飽和(3): 樹木に対する土壌への窒素負荷とオゾンの複合影響 (6月6日, 伊豆田担当)
10. エアロゾルと植物(1): 樹木に対するブラックカーボン粒子の影響 (6月13日, 伊豆田担当)
11. エアロゾルと植物(2): 樹木に対する硫酸アンモニウム粒子の影響 (6月20日, 伊豆田担当)
12. エアロゾルと植物(3): 「植物と微小粒子状物質(PM_{2.5})」に関する最新の知見 (6月27日, 伊豆田担当)
13. 気候変動と植物: (7月4日, 渡辺担当)
14. 高濃度CO₂と植物: (7月11日, 渡辺担当)
15. 環境植物学に関する最新の研究動向 (7月18日, 渡辺担当)
16. 試験 (7月25日)

Key words: 植物, 光化学オキシダント(O₃), 酸性降下物, 窒素飽和, 地球温暖化, エアロゾル

関連講義: 環境生物相関論(3・4年次後期), 樹木生態生理学(3年次前期, 集中講義)

環境植物学 第13回

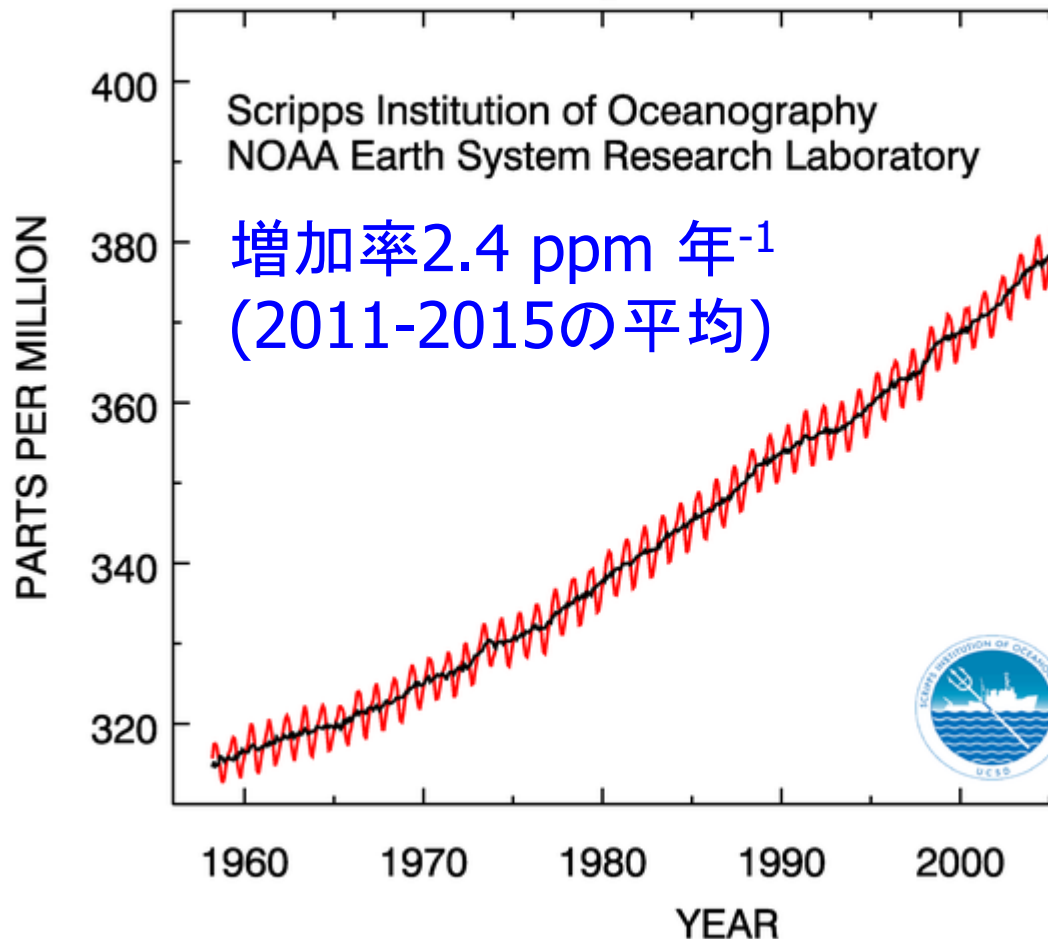
高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景：大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

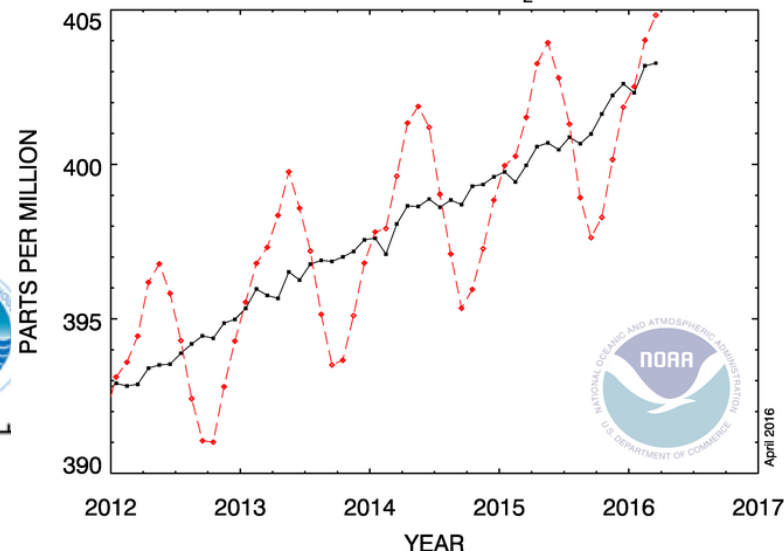
キーリング曲線(大気CO₂濃度の増加)

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory

Charles David Keeling

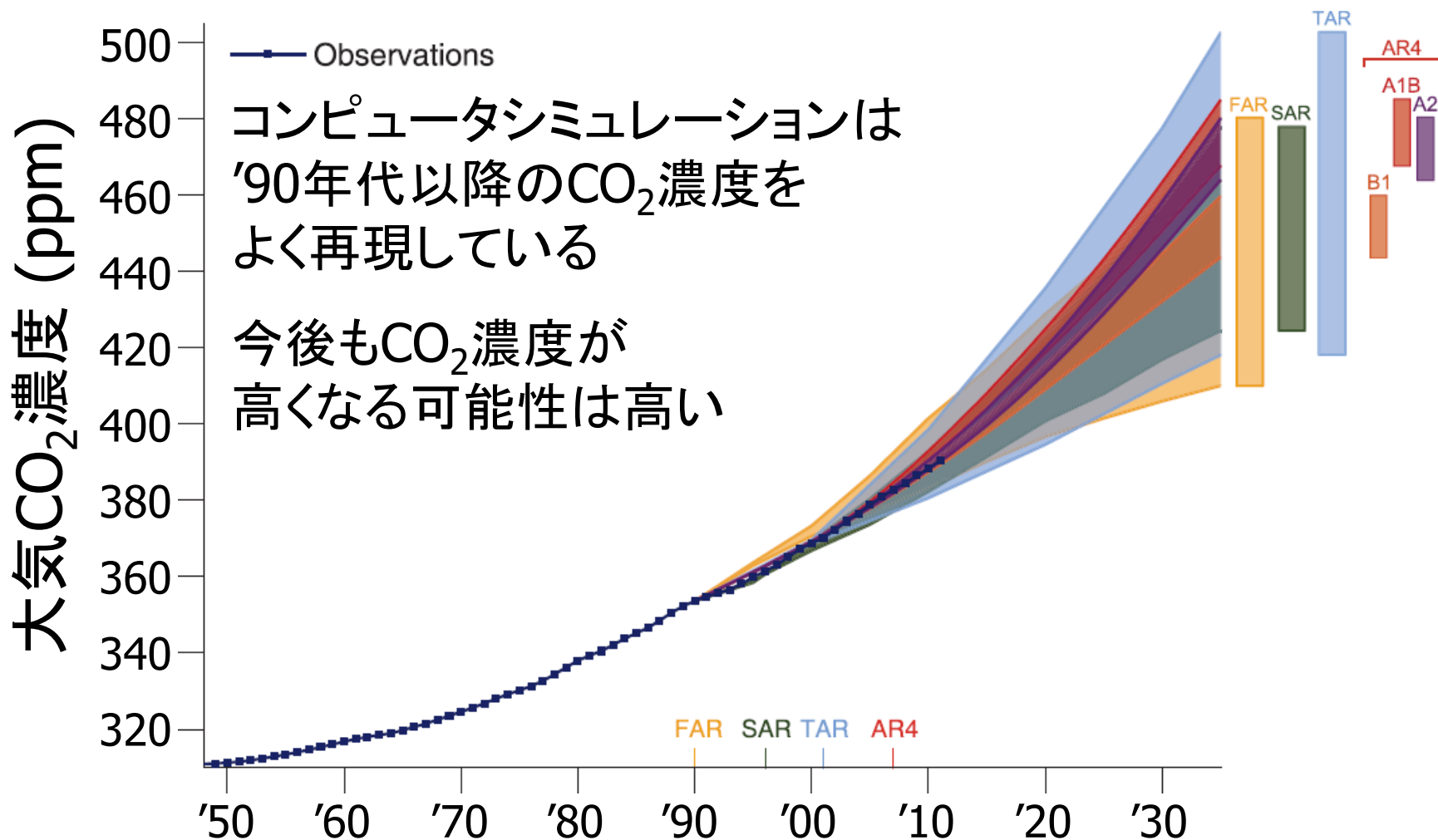


RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA



植物のCO₂吸収によって
6 ppmの増減

大気CO₂濃度の将来予測

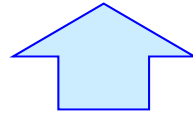
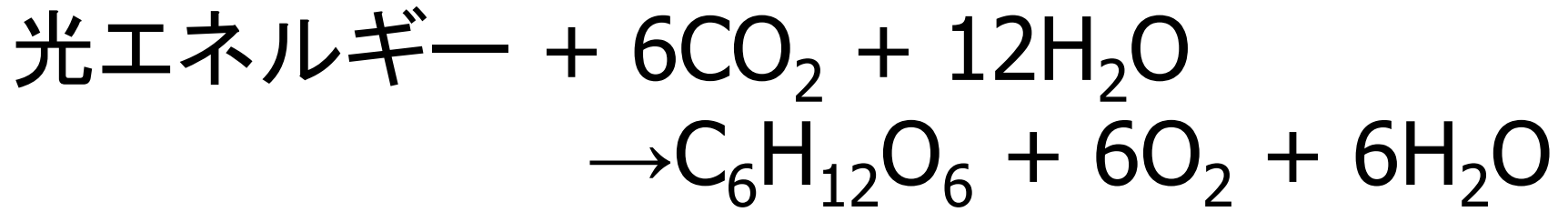


環境植物学 第13回

高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景: 大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 高濃度CO₂に対する光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

光合成反応

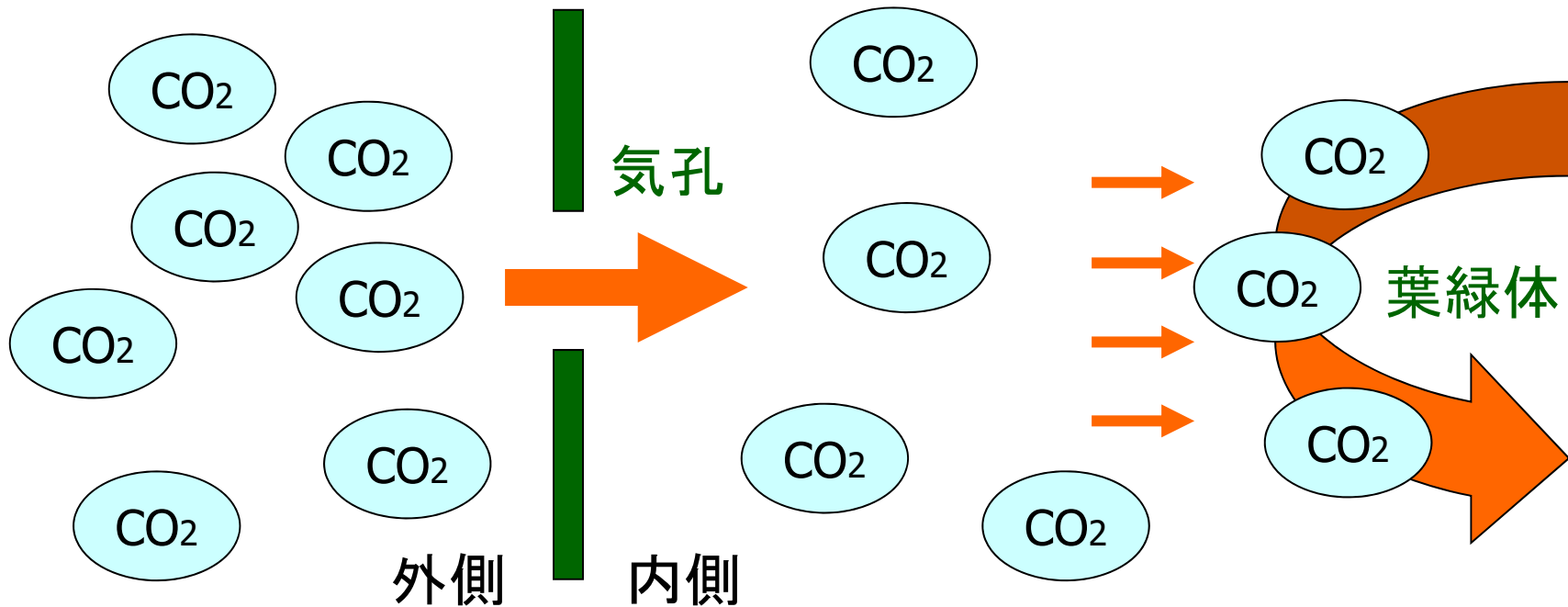


実際には非常に複雑な反応系

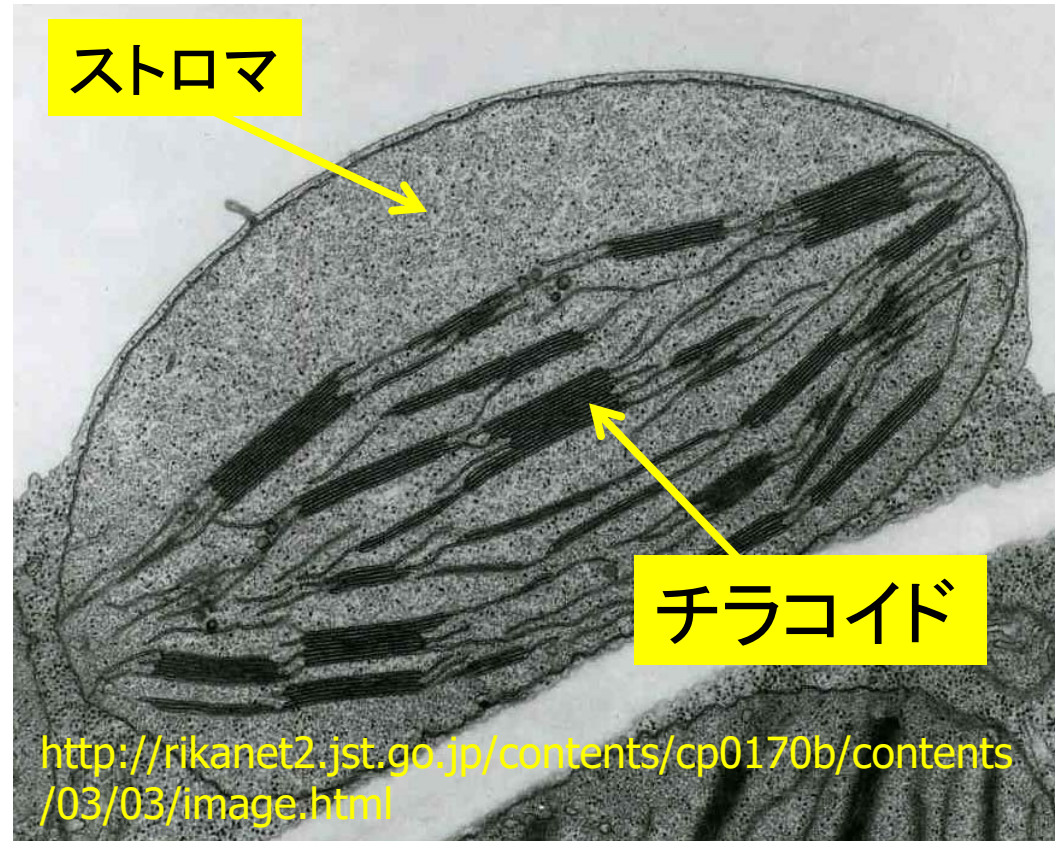
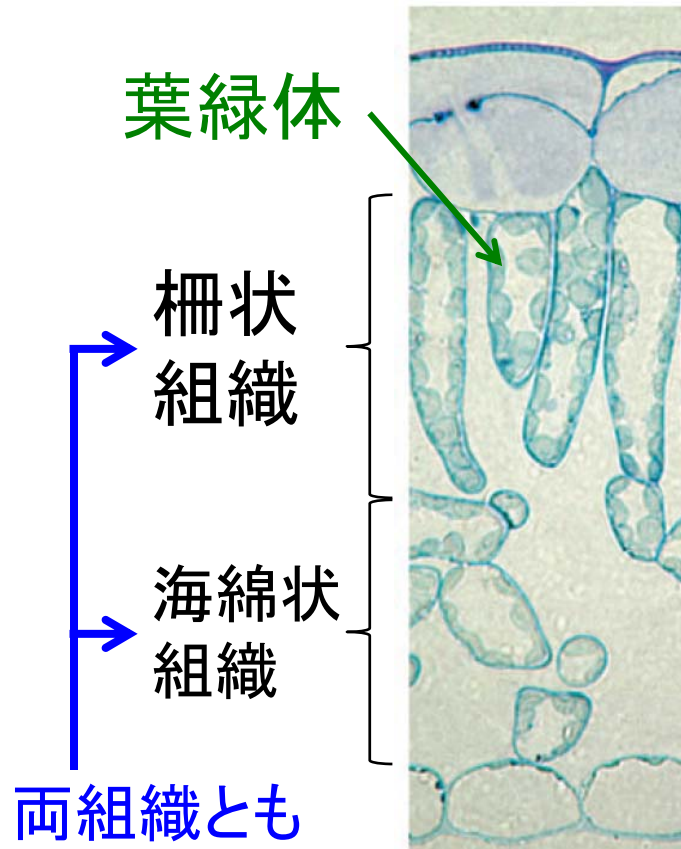
光合成系へのCO₂の流れ

[Supply function(供給)]

[Demand function(要求)]



葉緑体～光合成反応の場



チラコイドにおける反応: 電子伝達(NADPH合成)
ATP合成

ストロマにおける反応 : CO_2 固定反応

葉緑体における生化学的光合成プロセス

C3植物

Pi: 無機リン酸

スクロース合成

細胞質

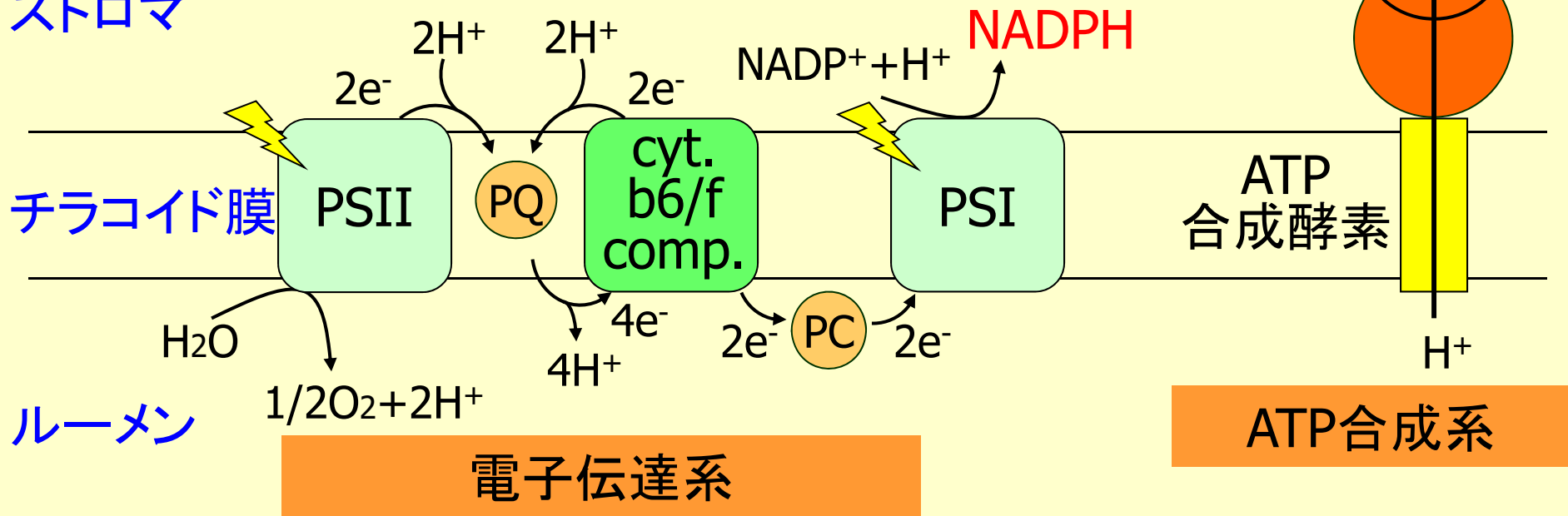
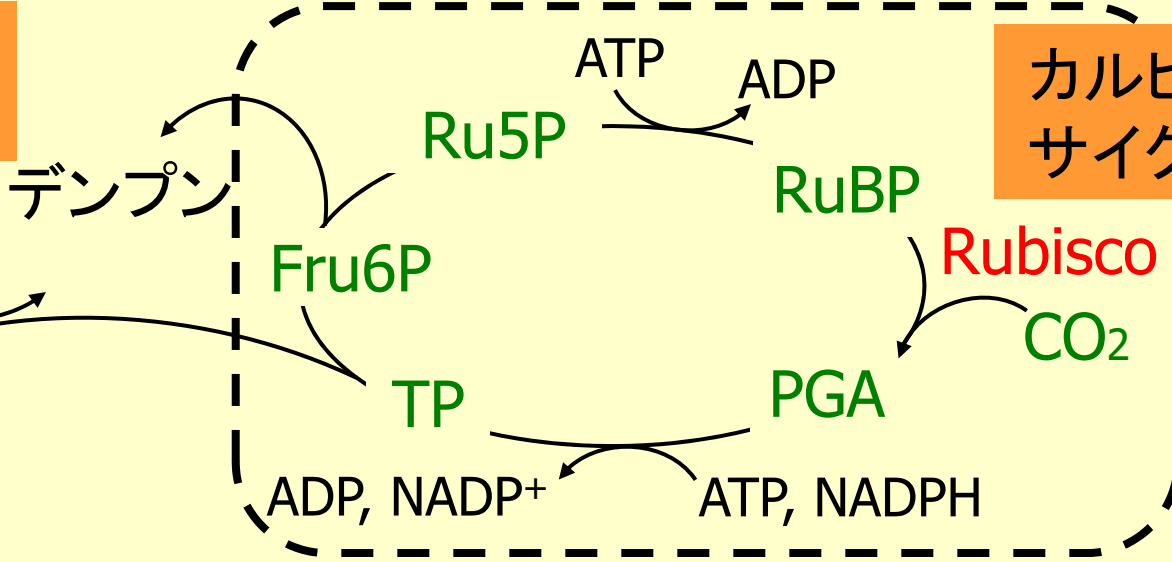
Pi
スクロース

ストロマ

チラコイド膜

ルーメン

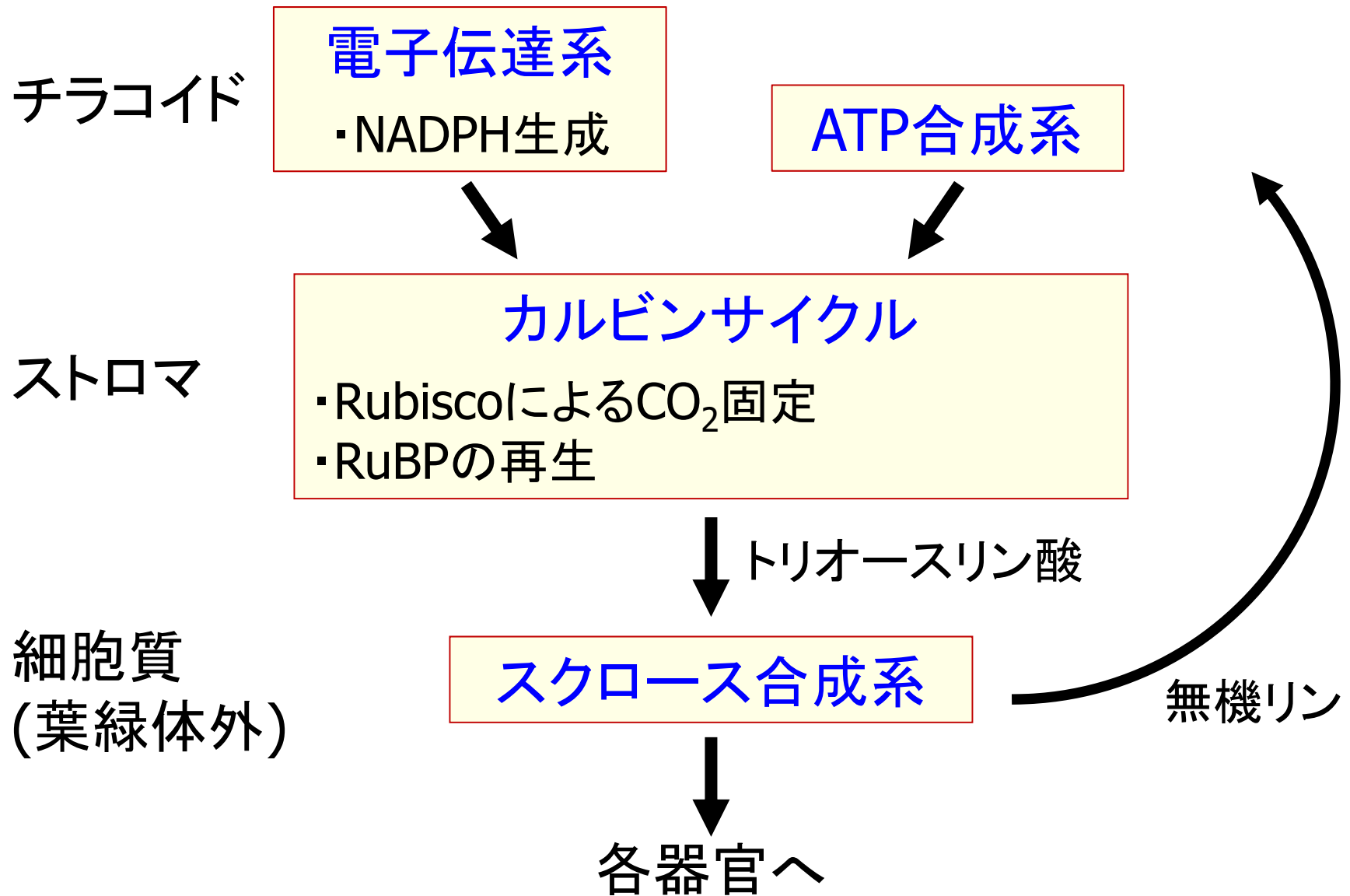
カルビン
サイクル



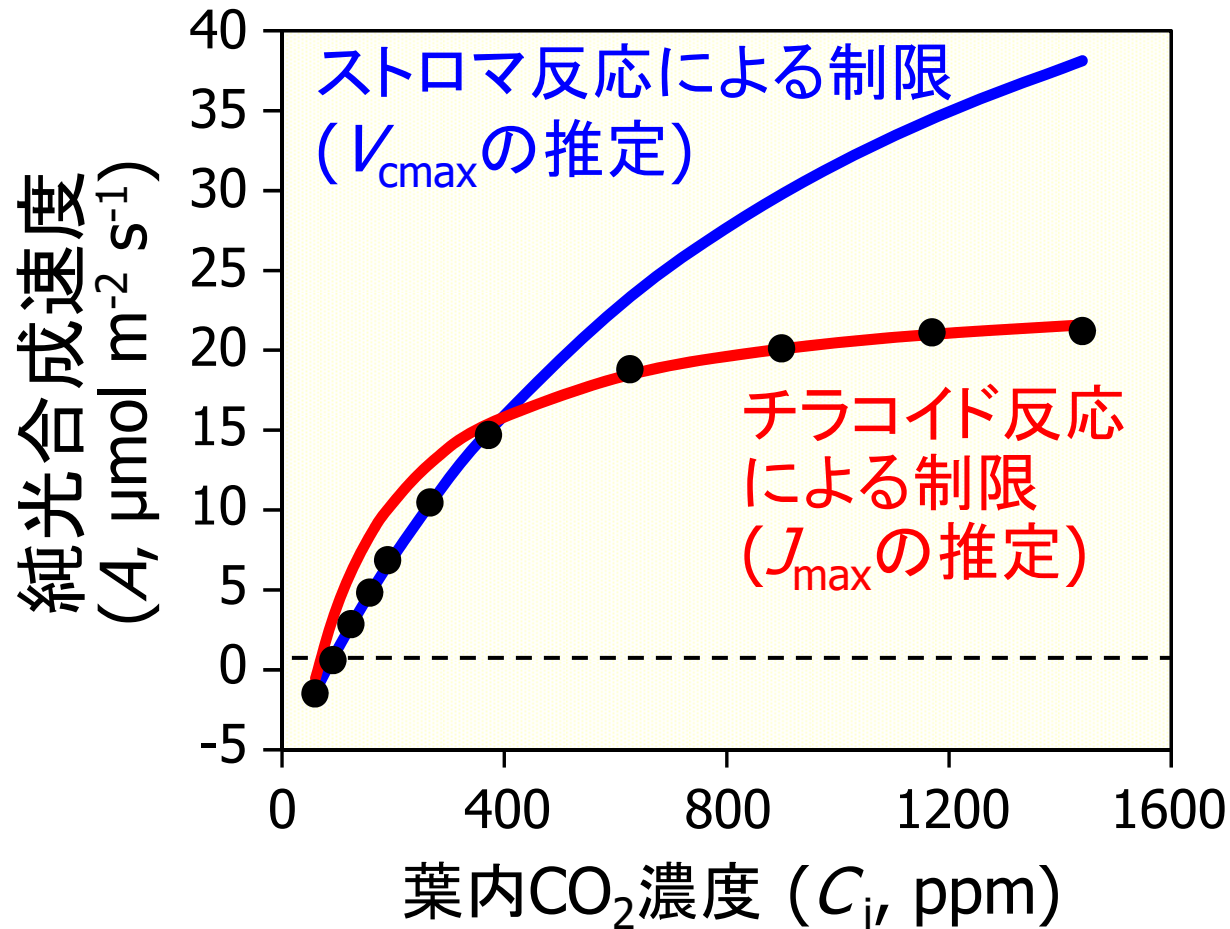
電子伝達系

ATP合成系

C3植物の光合成 (簡易版)



$A-C_i$ カーブによる光合成の解析



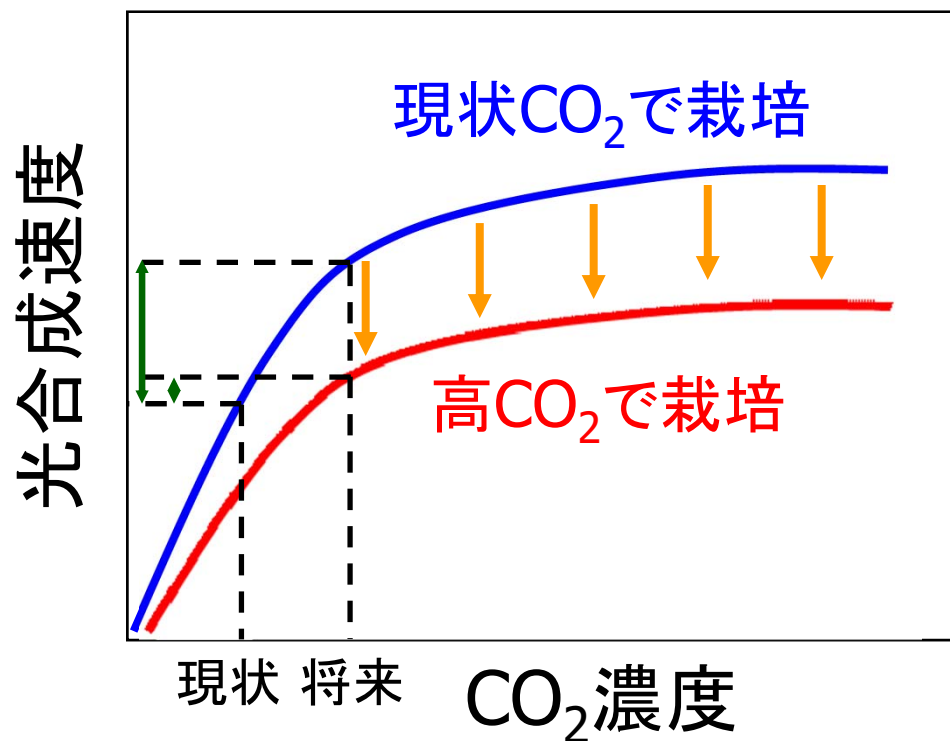
$A-C_i$ カーブの解析によって、最大カルボキシレーション速度($V_{c\text{max}}$)や最大電子伝達速度(J_{max})を求めることができる

環境植物学 第13回

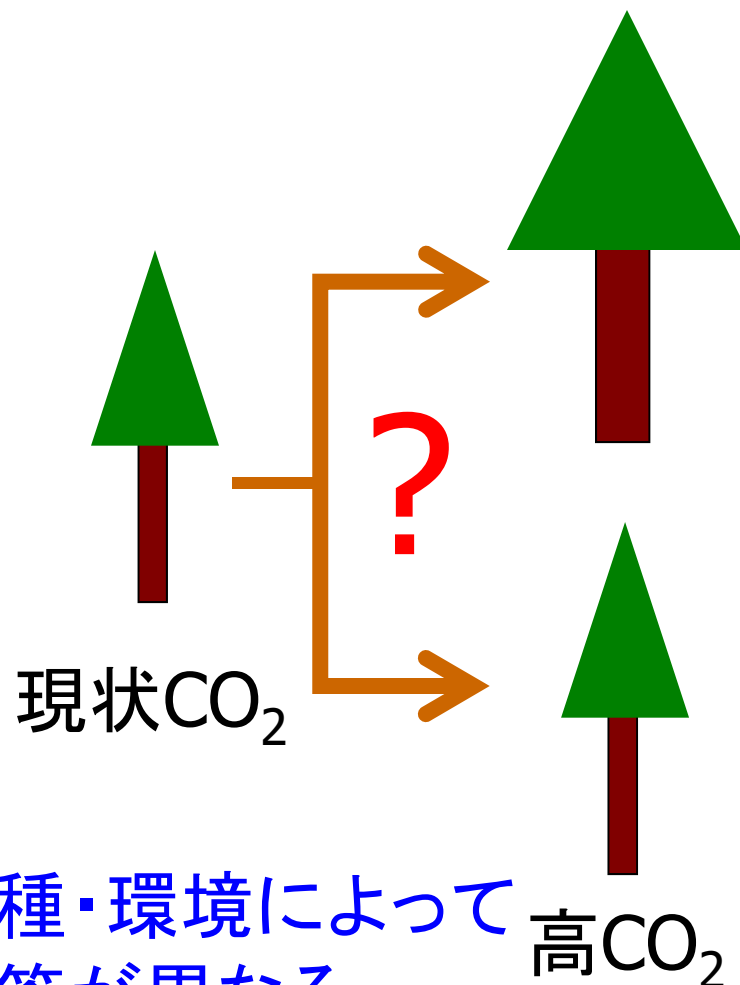
高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景: 大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

大気CO₂の増加=生産力増加？



光合成の
ダウンレギュレーション



樹種・環境によって
応答が異なる

高CO₂に対する光合成応答 (人工気象室でのダウンレギュレーションの メカニズム研究)



材料と方法

供試材料

グイマツ雑種F₁(グリーンム)
3年生苗

処理設備

自然光型環境調節室
(森林総研北海道)

CO₂濃度

360 ppm と 720 ppm

実験期間

2008年5～10月



グイマツ雑種F₁

- ・グイマツを母樹, カラマツを花粉親とした雑種の一代目
- ・ネズミ害や病害を受けにくく、かつ成長が早い
- ・木材としての質も良い
- ・洞爺湖サミットの記念植樹に用いられた

2008.5
(0.6 m)



2009.9
(2.5 m)



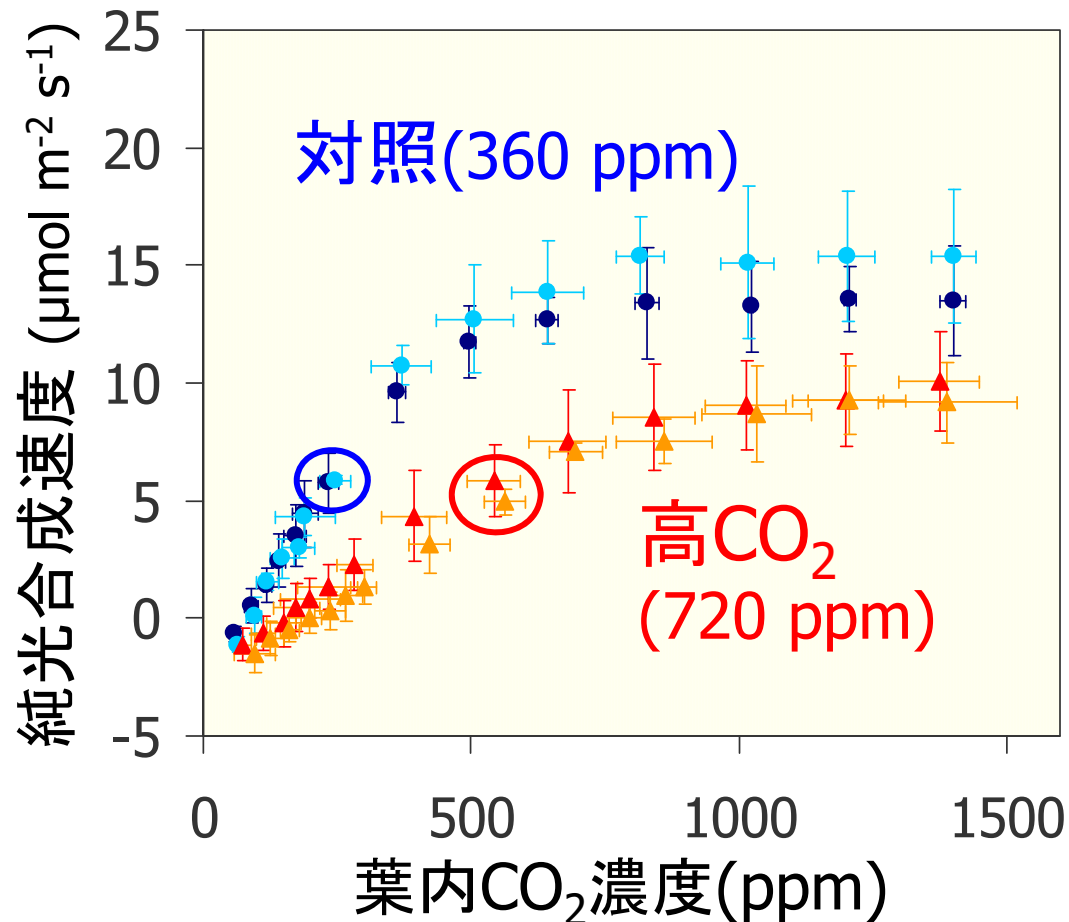
2010.8
(3.7 m)



2016.5
(9 m)



高CO₂環境で光合成能力の低下

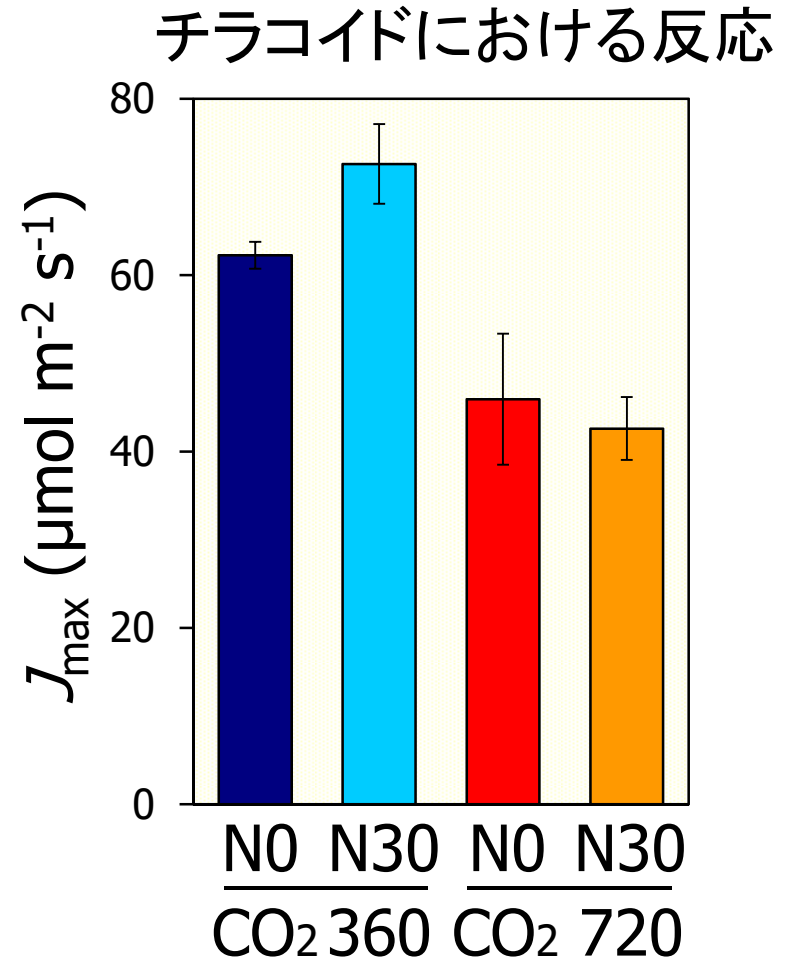
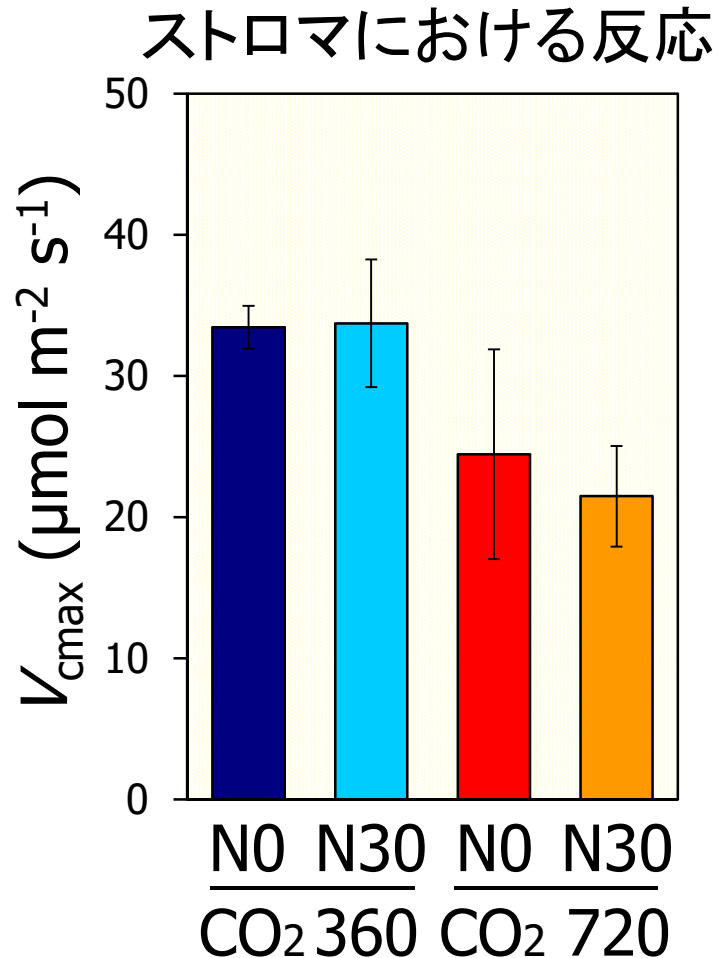


CO₂ 360

CO₂ 720

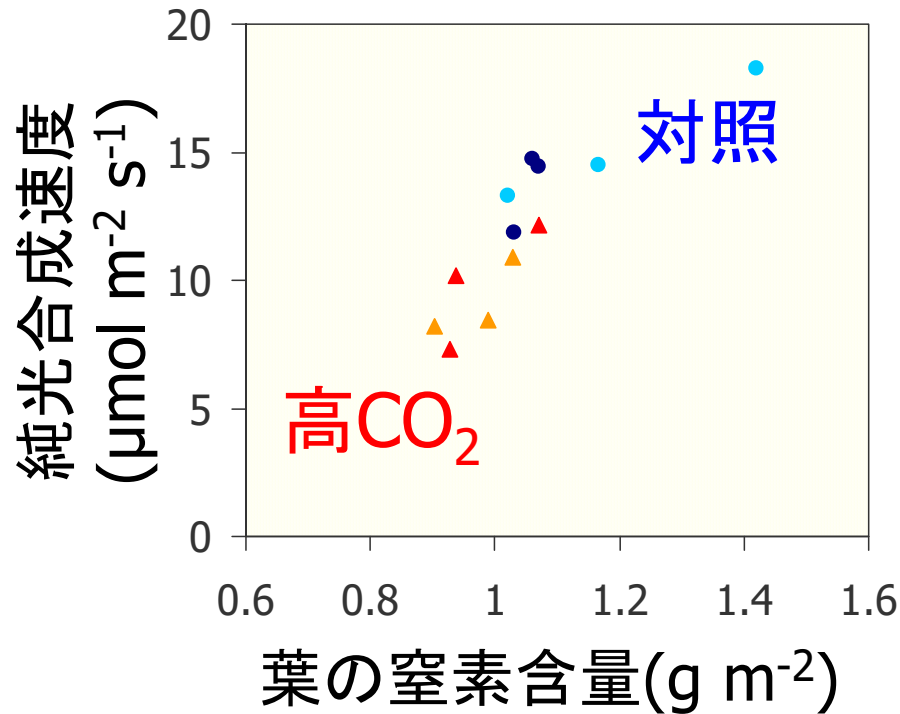
高CO₂なのに光合成速度が増加していない
-> 光合成のダウンレギュレーションが起こった

葉緑体における光合成活性

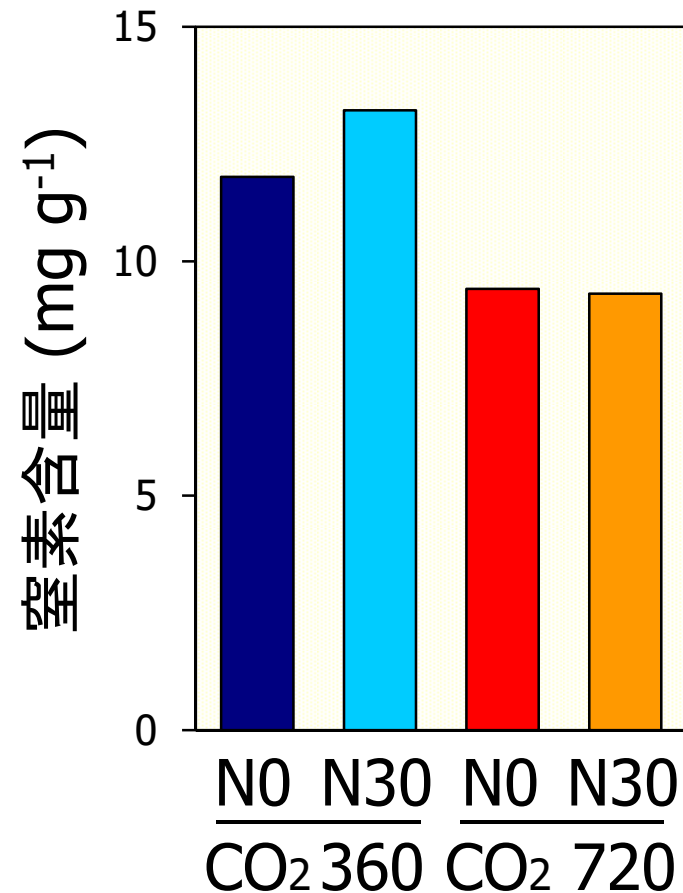


高CO₂環境で V_{max} も J_{max} も低下

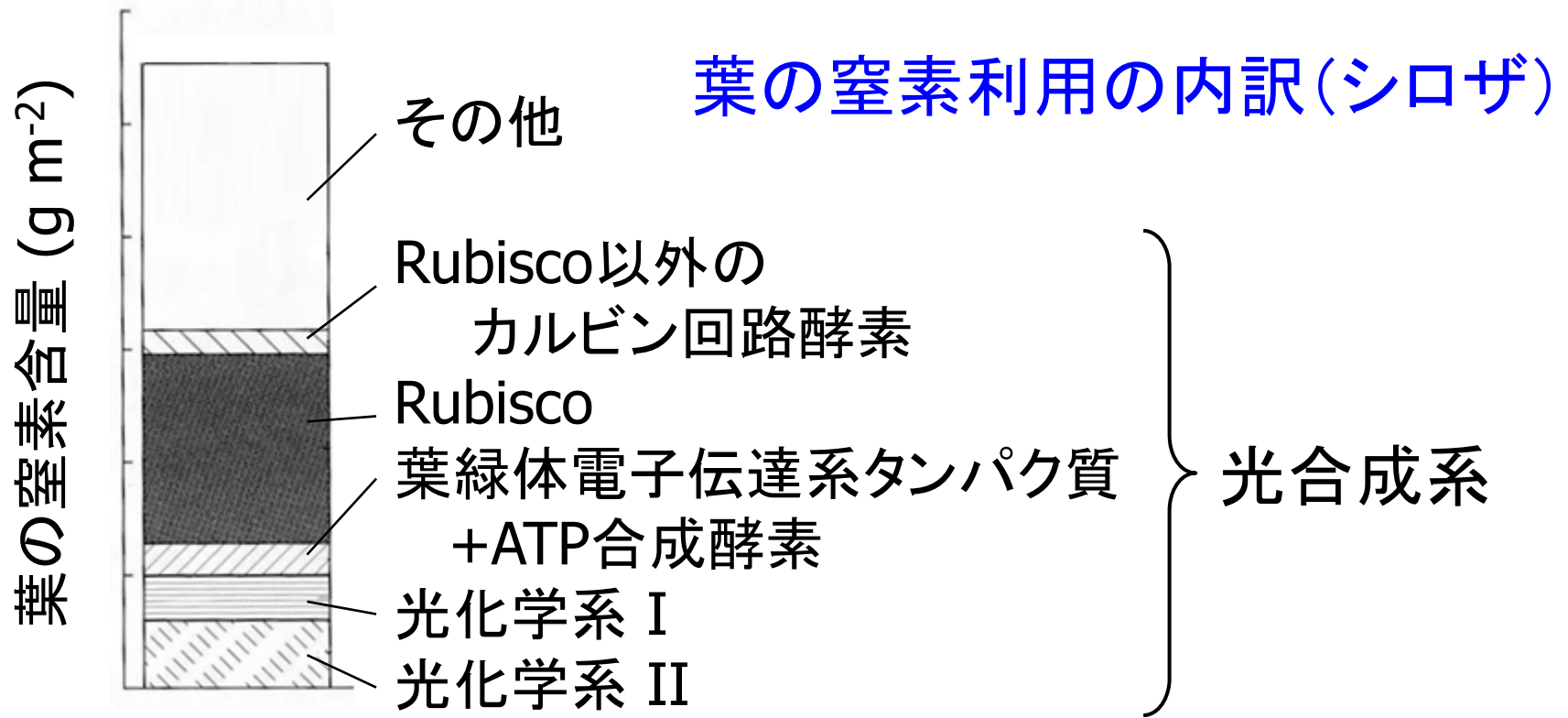
光合成のダウンレギュレーションが起こる原因①



高CO₂環境では
葉の窒素含量が低下



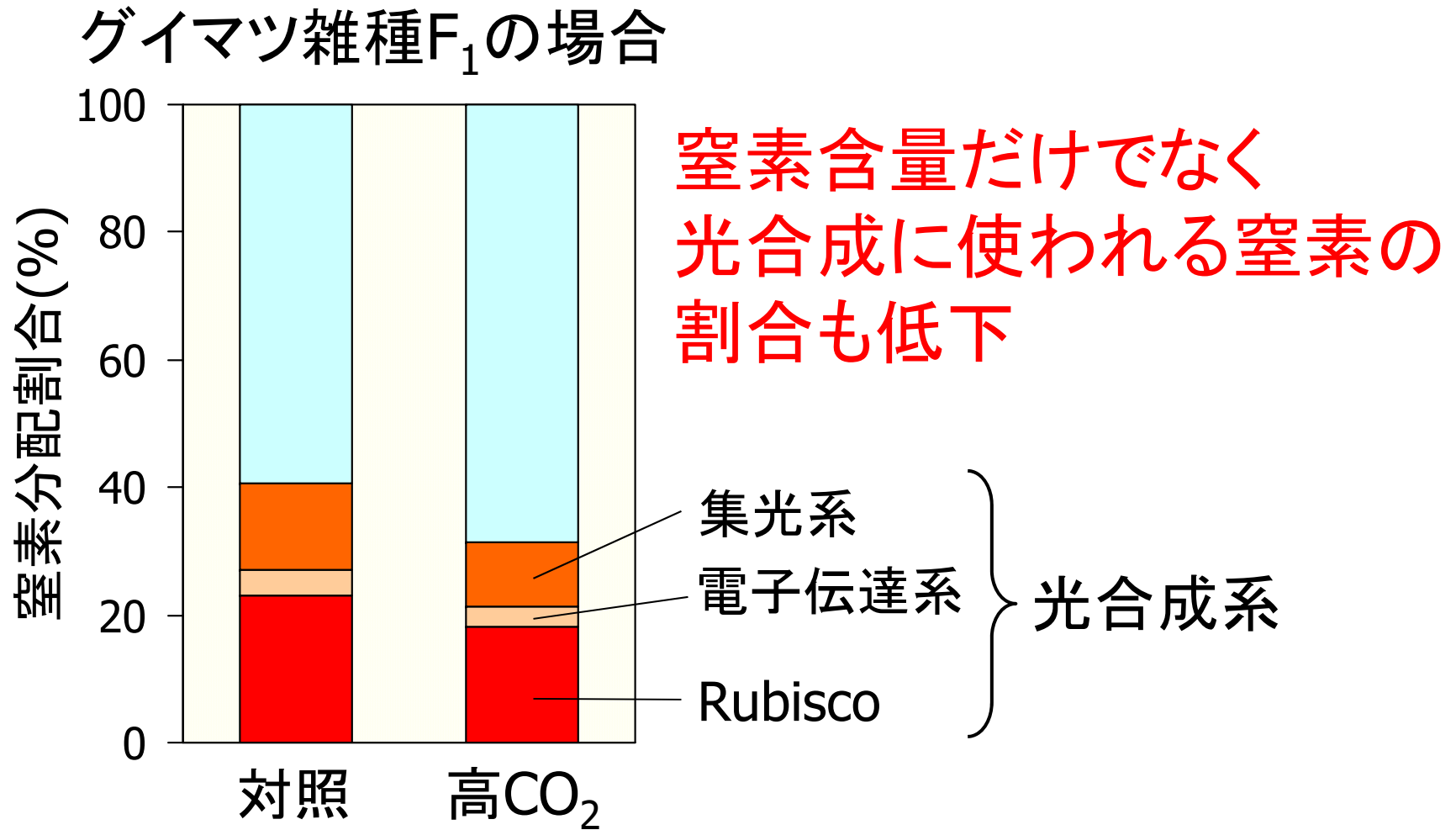
何故、葉の窒素が減ると光合成速度が低下する？



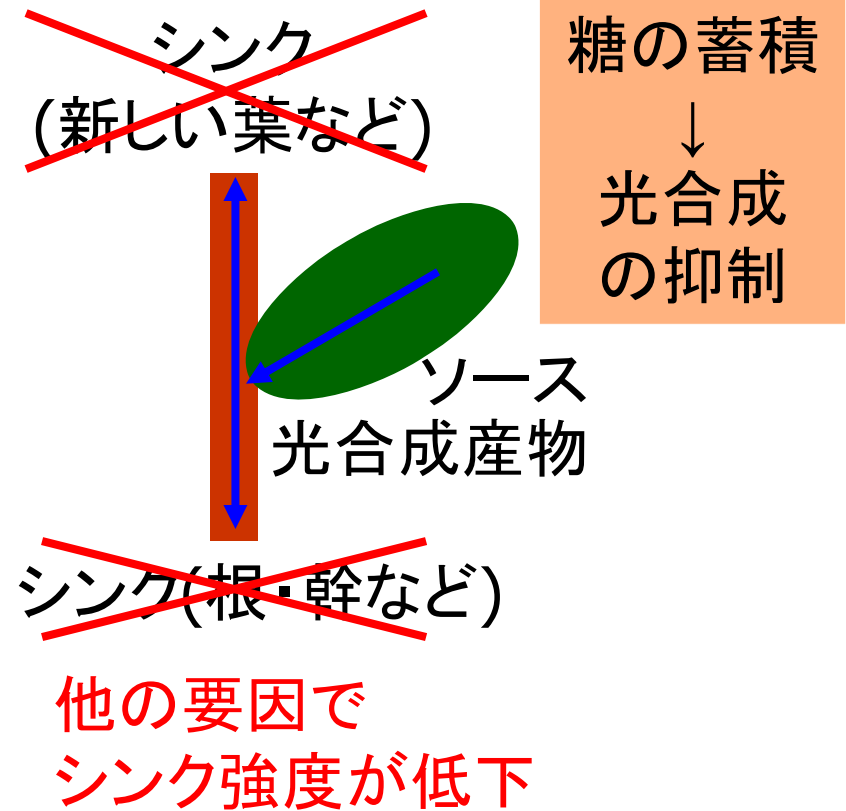
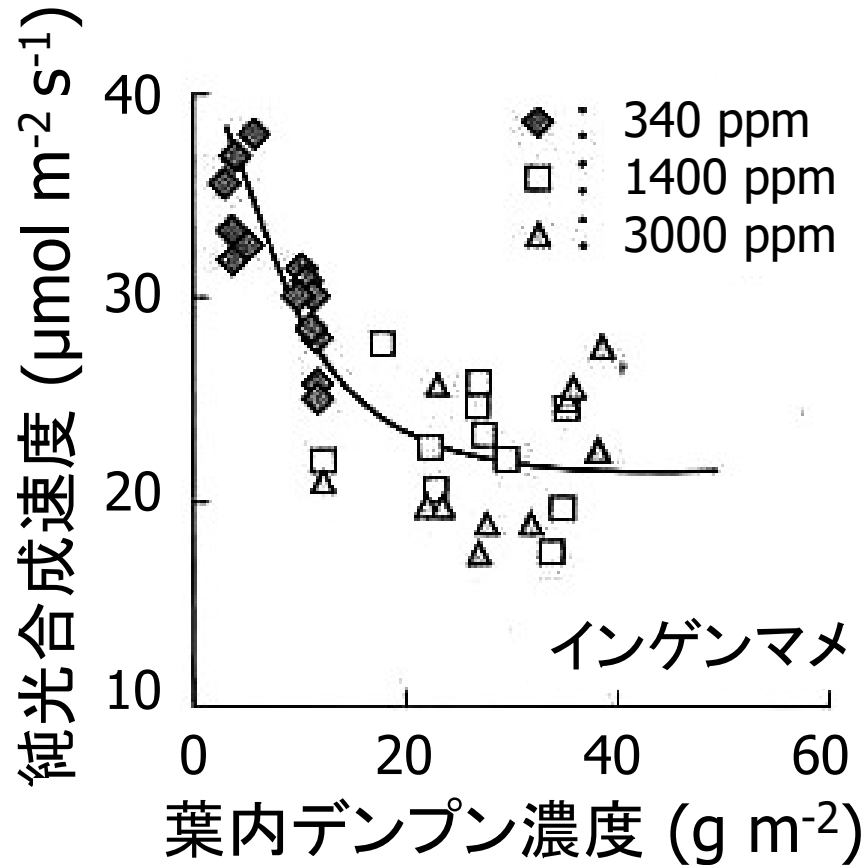
葉の窒素の大部分は光合成系に投資される

葉の窒素含量低下 → 光合成系への窒素投資量低下

光合成のダウンレギュレーションが起こる原因②



光合成のダウンレギュレーションが起こる原因③

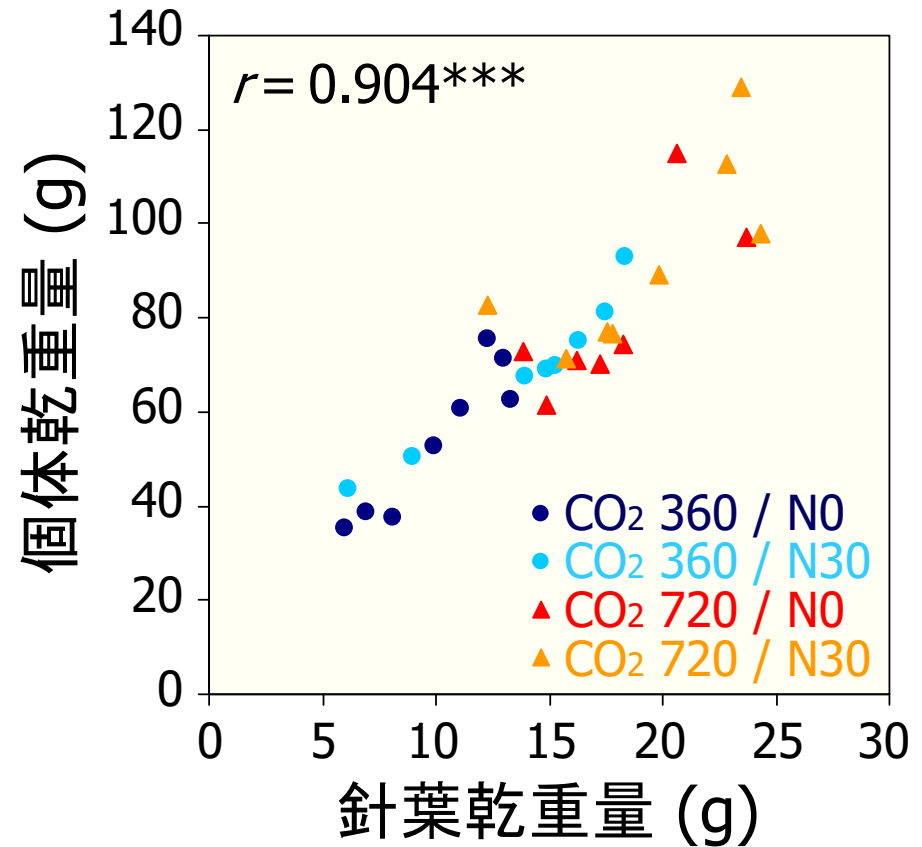
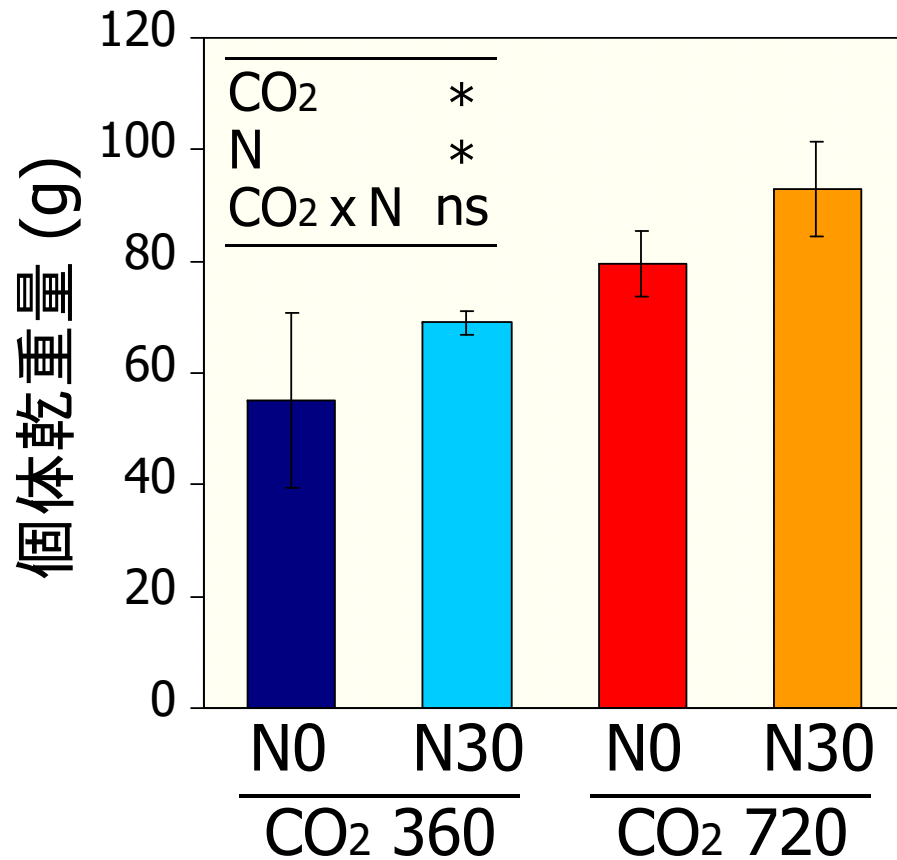


糖の蓄積によるダウンレギュレーション

高CO₂による光合成のダウンレギュレーション

- ①葉の窒素含量の低下
（光合成系への窒素投資量の低下）
 - ②光合成に使われる窒素の割合の低下
 - ③糖の蓄積に伴うフィードバック阻害
-

ダウンレギュレーションは起こったけど



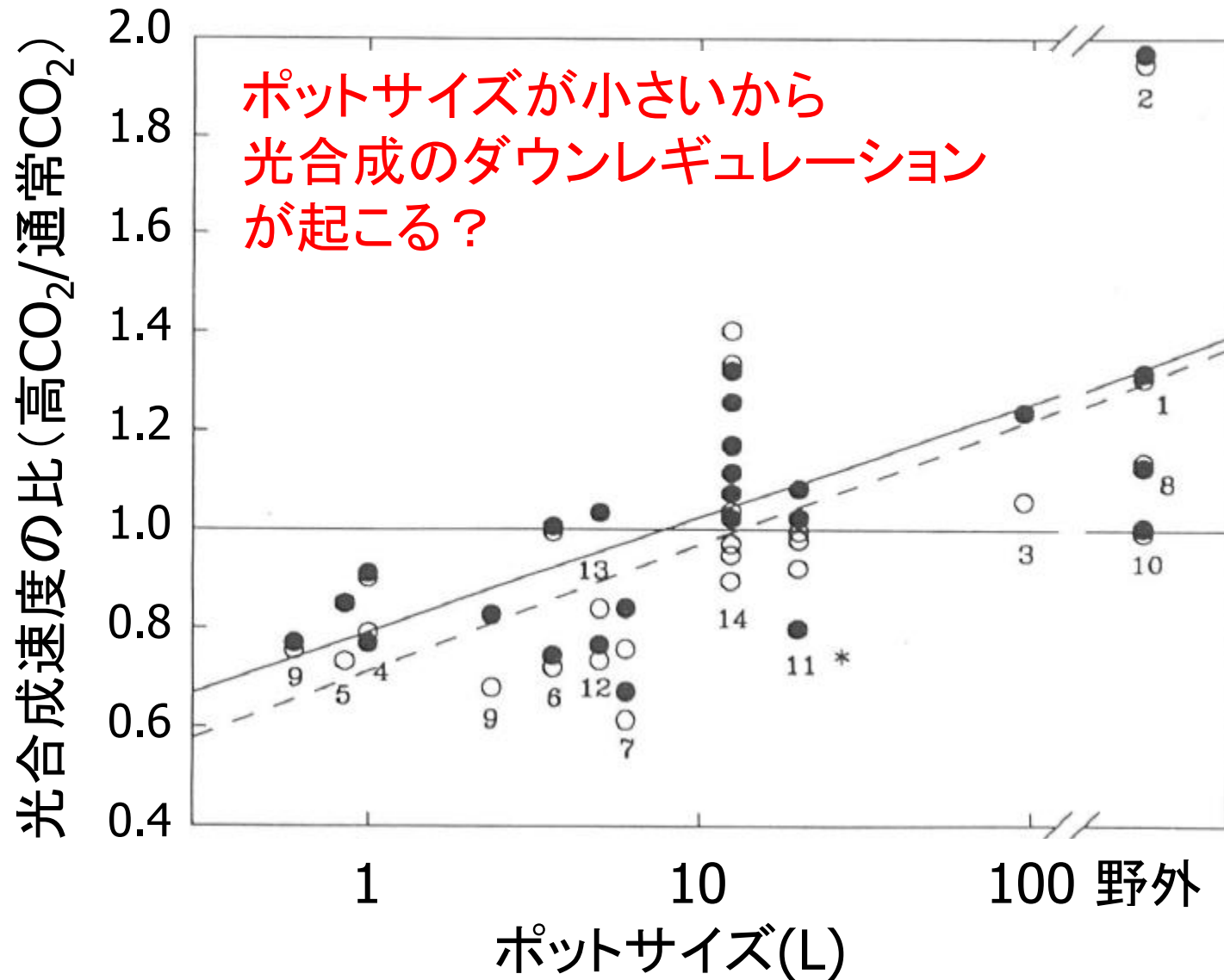
高CO₂による葉量の増加が
個体乾重量の増加をもたらした

環境植物学 第13回

高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景: 大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

Arp (1991) によるポットサイズの指摘



樹木の高CO₂応答に関する実験設備

人工気象室(人工光)



人工気象室(自然光)



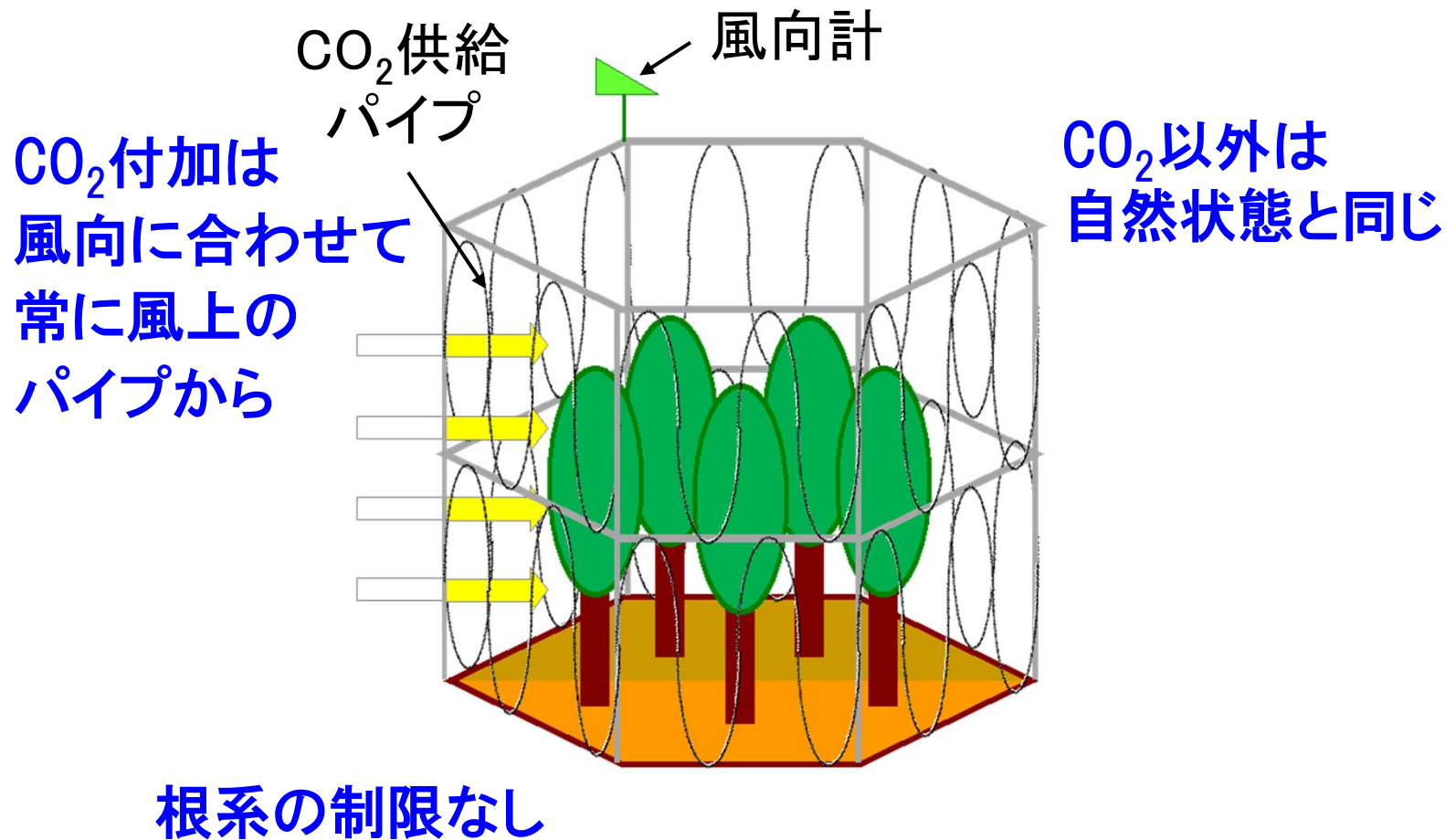
オープントップチャンバー



FACE (Free Air CO₂ Enrichment)



FACE (Free Air CO₂ Enrichment)



高CO₂実験装置の比較

設備	人工気象室 (人工光型)	人工気象室 (自然光型)	オープントップ チャンバー	FACE
環境	人工的 (一定条件)			自然 (大きく変動)
制御	精密			荒い
ランニング コスト	安い			高い
用途	メカニズム 研究			生態(系)調査 応用科学



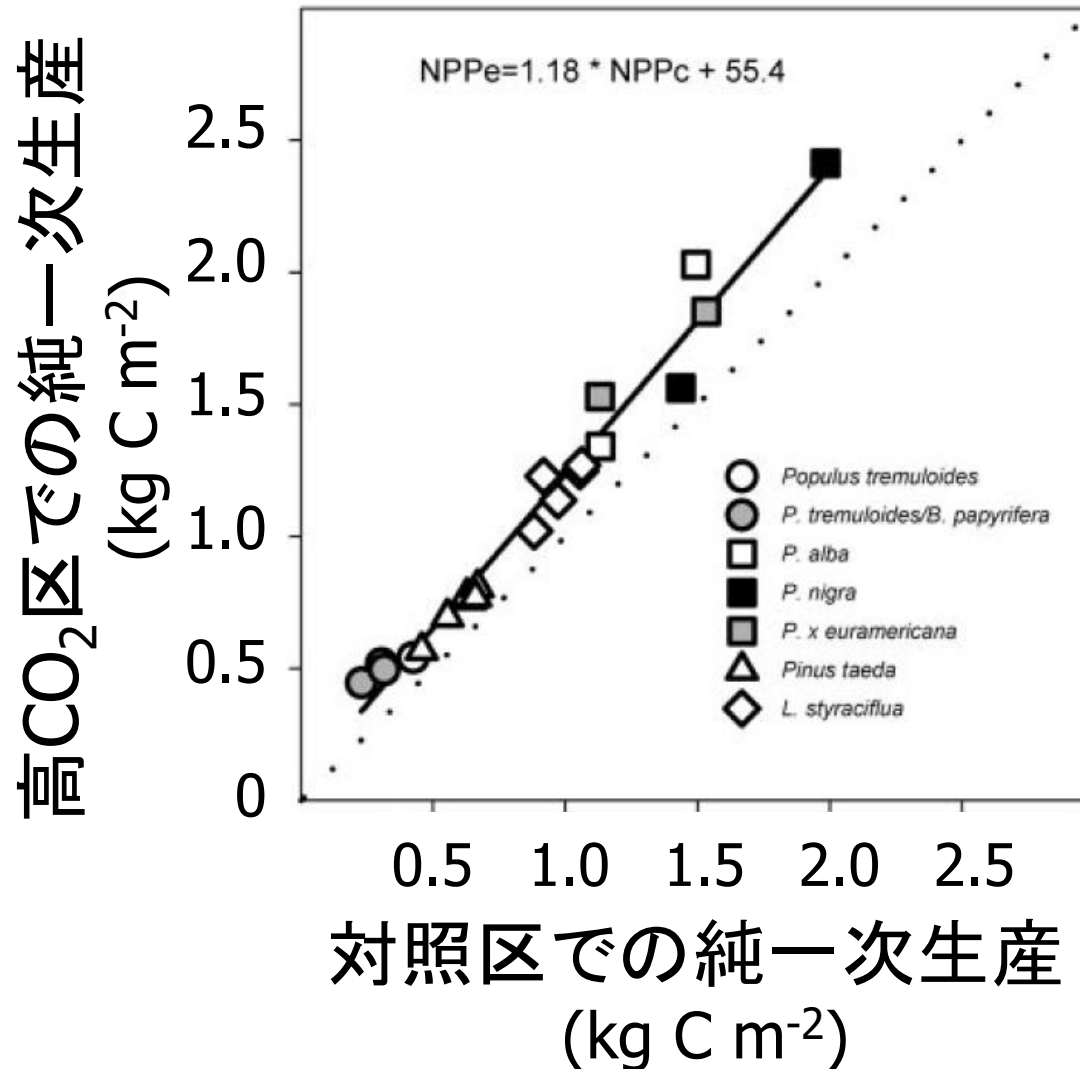
※CO₂スプリングは無料で自然状態(ただし対照が取りにくい)

CO₂スプリング(天然の高CO₂環境)



<http://hostgk3.biology.tohoku.ac.jp/hikosaka/CO2spring/CO2spring.html>

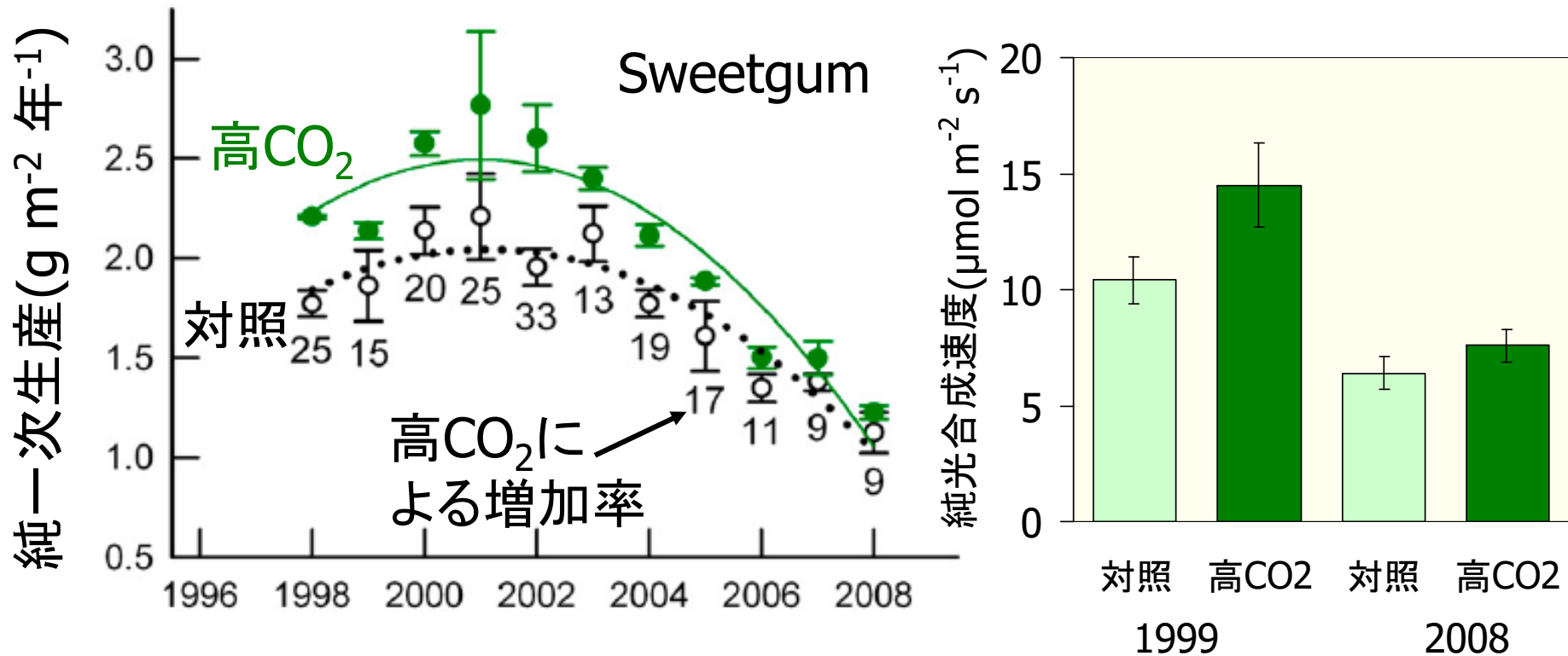
やはりFACEではCO₂で成長促進か？



森林を対象とした
FACE実験の
取りまとめ
全体で23%増加

FACEでもCO₂によって生産性が高まるとは限らない

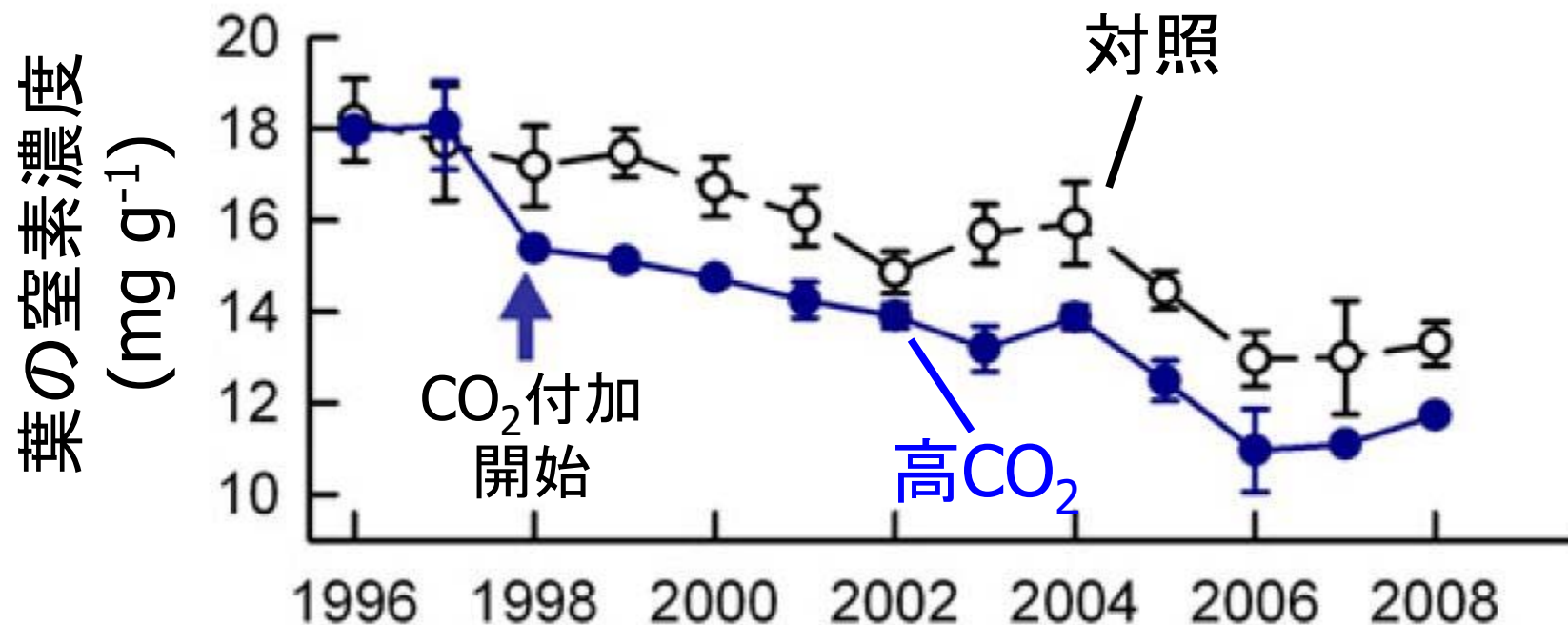
Oak Ridge FACE (オークリッジ国立研究所)



高CO₂による成長促進が
途中から見られなくなった

葉の窒素濃度の推移

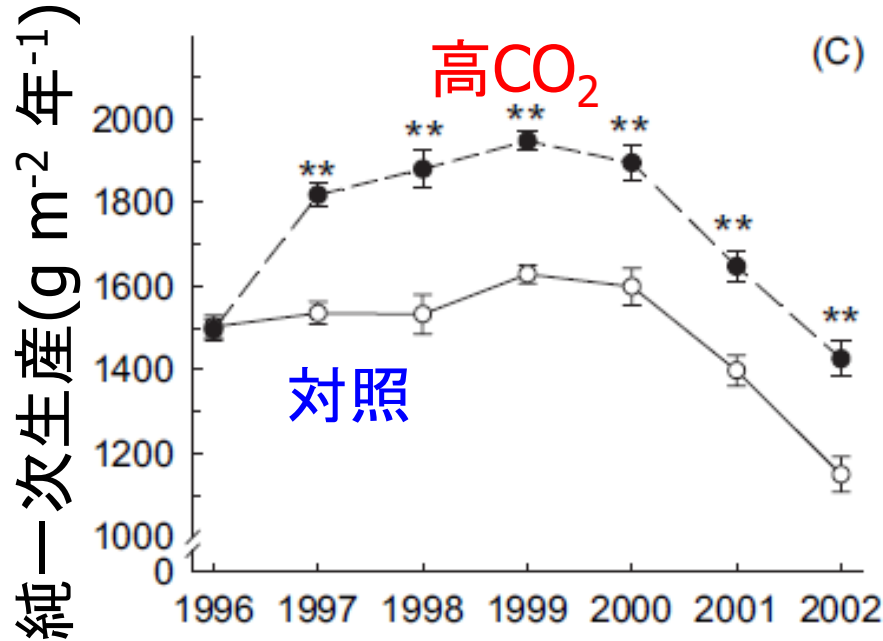
Oak Ridge FACE (オークリッジ国立研究所)



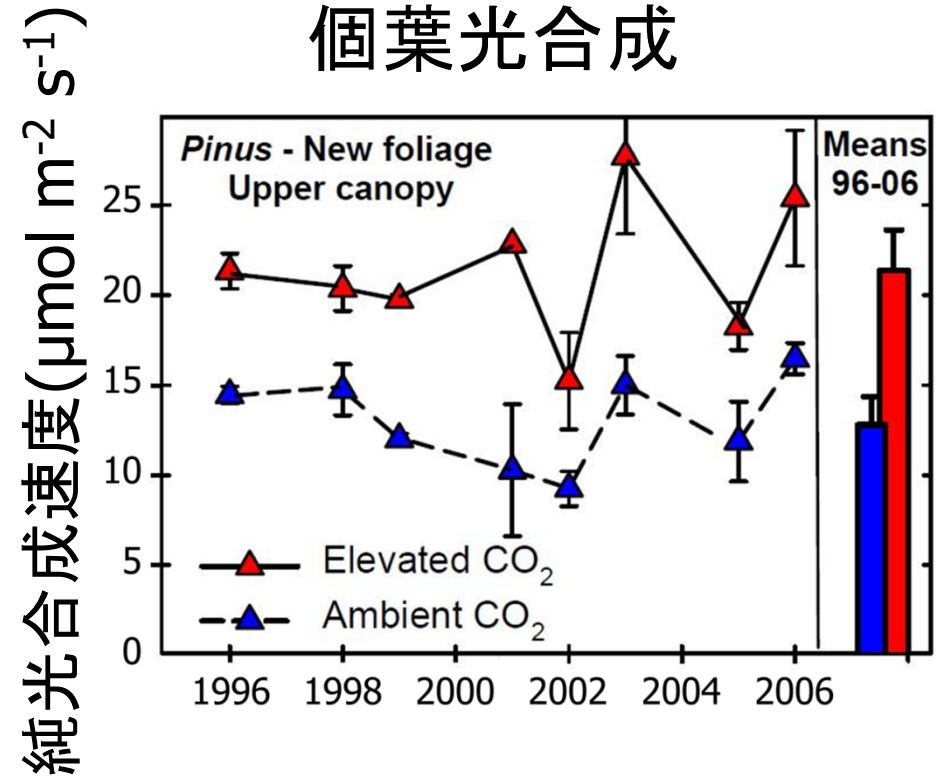
葉の窒素含量の低下によってCO₂による
光合成速度の増加があまり見られなくなった

Duke FACE (loblolly pine、デューク大学)の結果

群落生産



個葉光合成



高 CO_2 によって森林の生産は継続的に増加した
個葉の光合成も低下しなかった

海外のFACE研究のまとめ

FACEだからといって、CO₂による成長促進が保障されているわけではない



養分利用性などの立地環境や気候条件によってはCO₂による成長促進効果が期待するほど得られない可能性がある

環境植物学 第13回

高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景: 大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

日本の森林樹木の生産は高CO₂環境でどうなる？

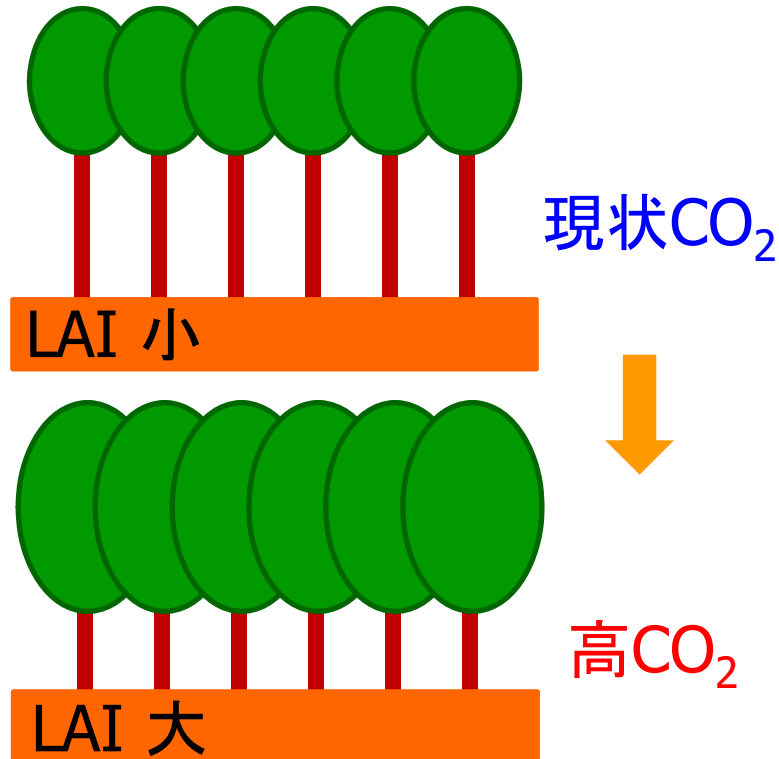
カバノキ属3種の光合成・成長に与える
高濃度CO₂の影響

高CO₂が森林のCO₂吸収に与える影響

葉量への影響

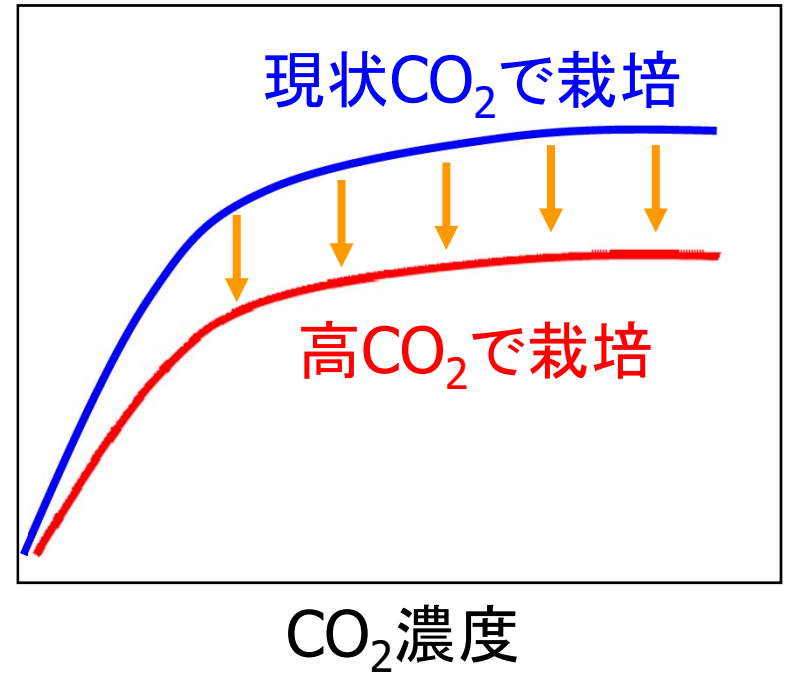
LAI = Leaf Area Index

単位土地面積あたりの葉面積(m² m⁻²)



個葉への影響

光合成速度



光合成の負の制御

Down regulation of photosynthesis

両者を統合した評価が必要

材料と方法

供試樹種 (植栽時2年生苗)

- ・シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*)
- ・ダケカンバ (*Betula ermanii*)
- ・ウダイカンバ (*Betula maximowicziana*)

CO₂濃度

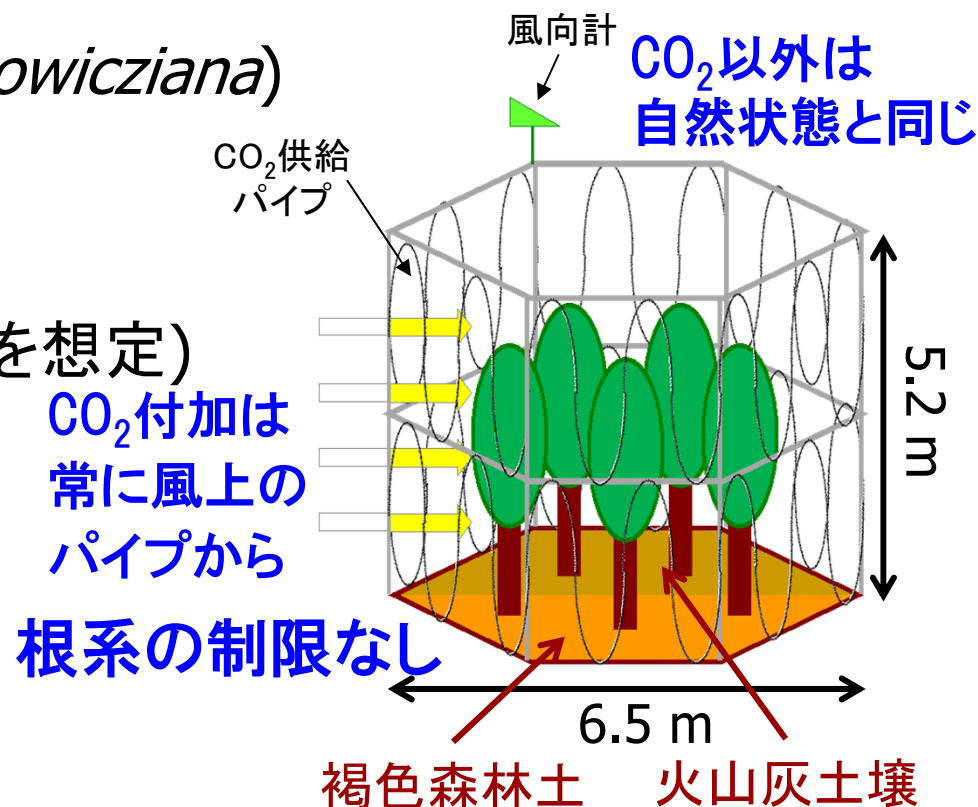
- ・380 ppm (対照)
- ・500 ppm (高CO₂, 2040年頃を想定)

土壌

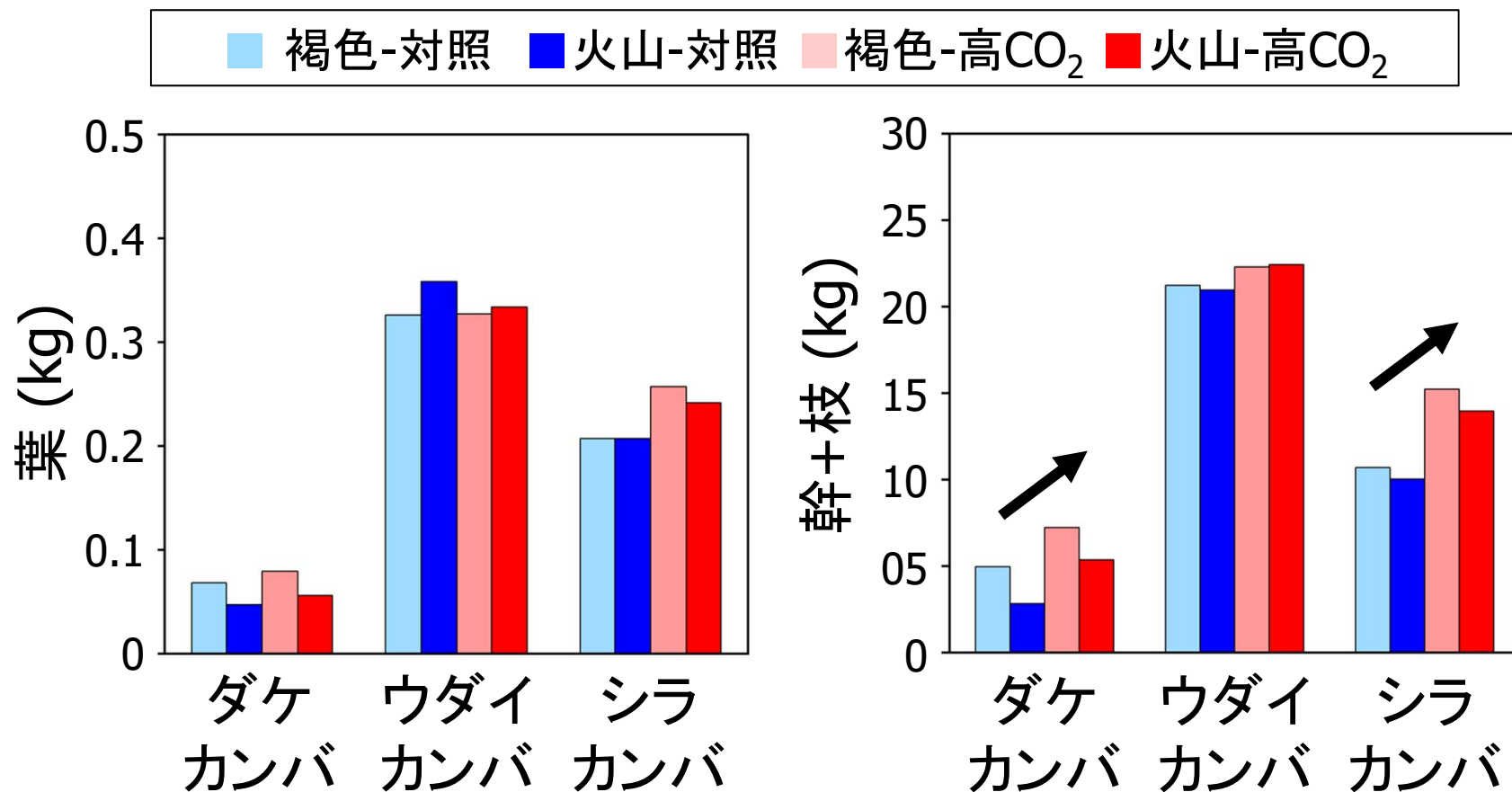
- ・褐色森林土 (富栄養)
- ・火山灰土 (貧栄養)

実験期間

2010～2013年(4成長期間)

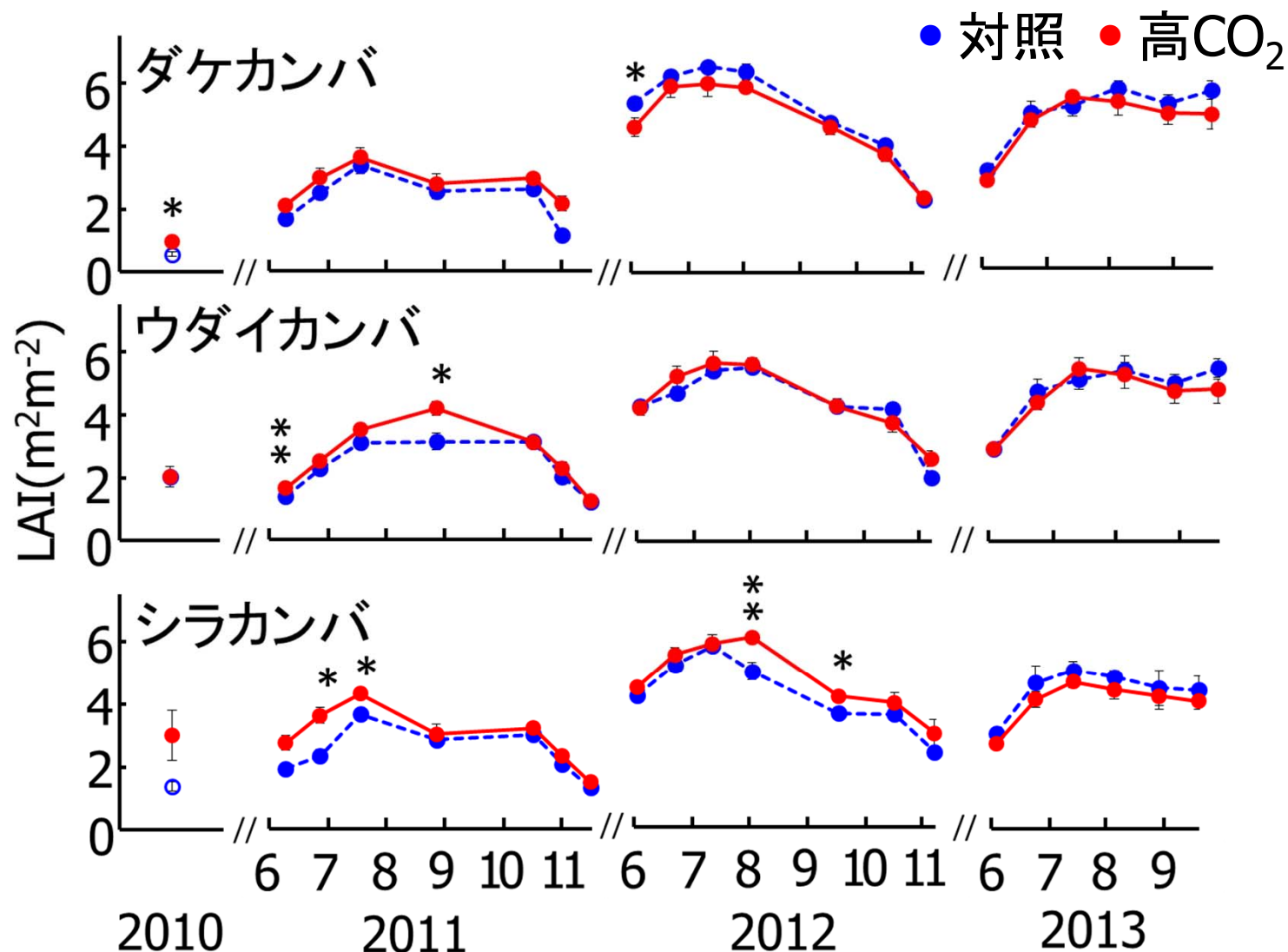


地上部バイオマスへの影響



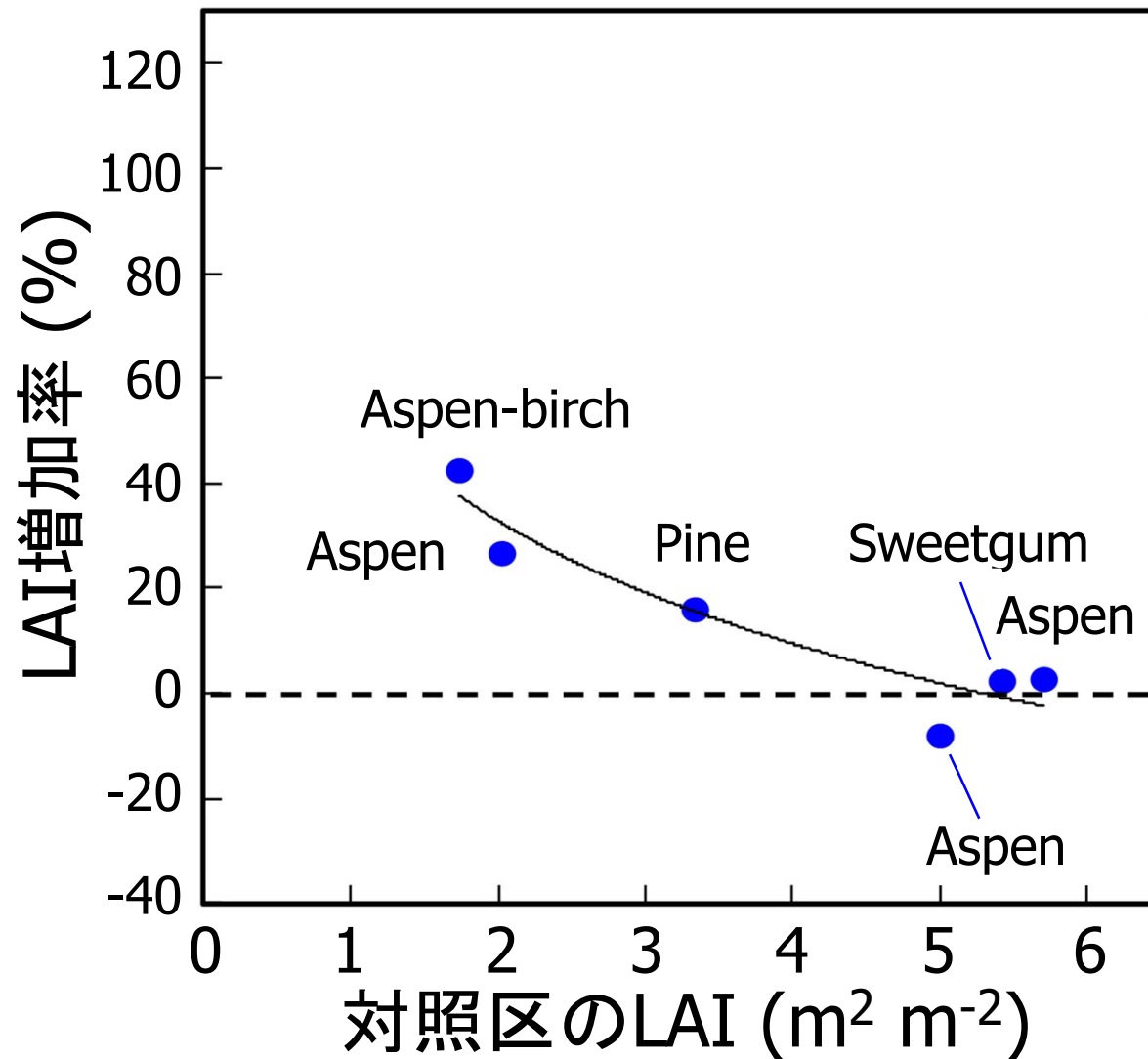
ダケカンバ・シラカンバ: 乾物成長の増加(主に幹の増加)
ウダイカンバ: 高CO₂の影響なし

葉量(LAI)の推移

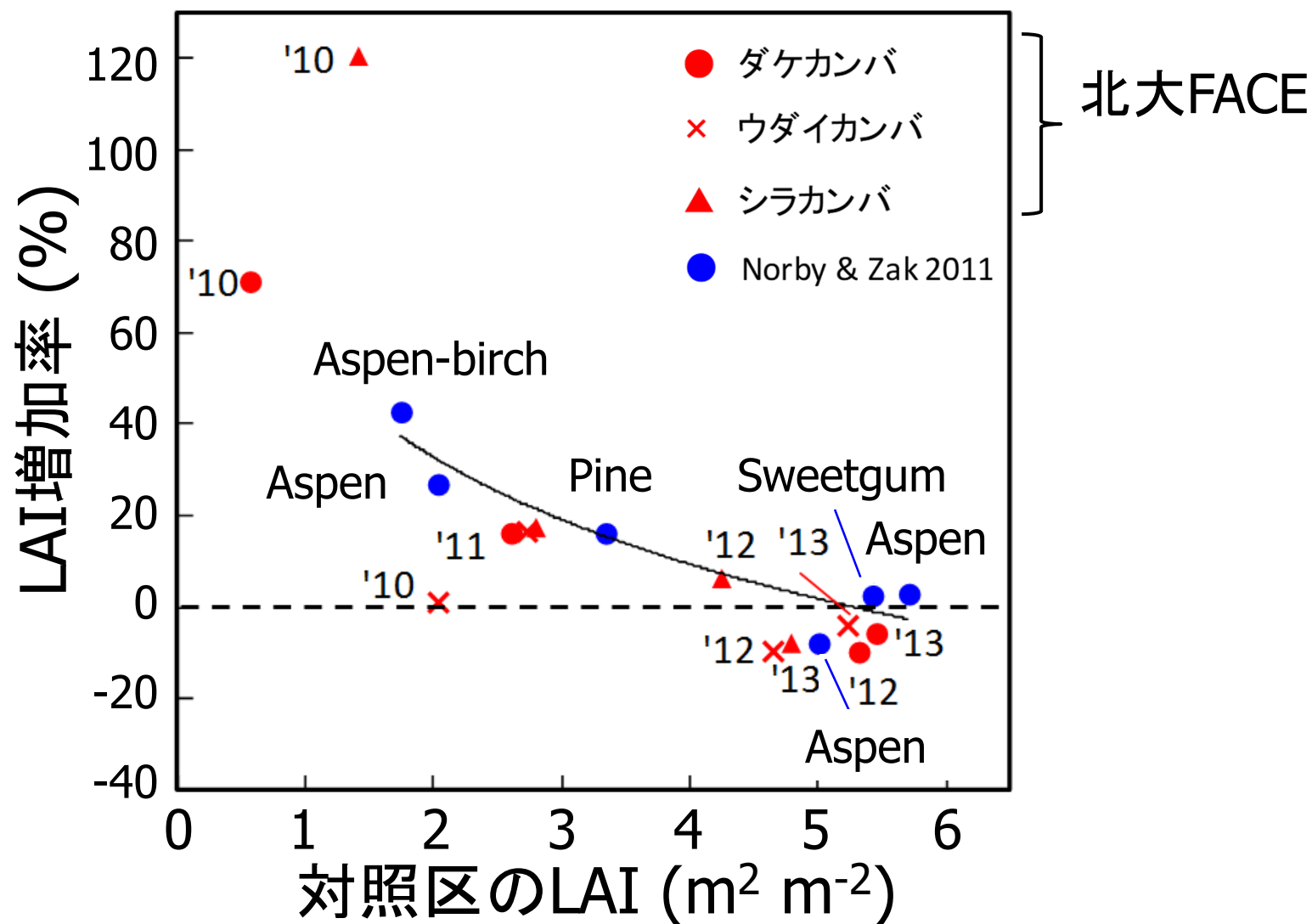


生育後半はLAIの増加があまり見られない

高CO₂によるLAIの増加率

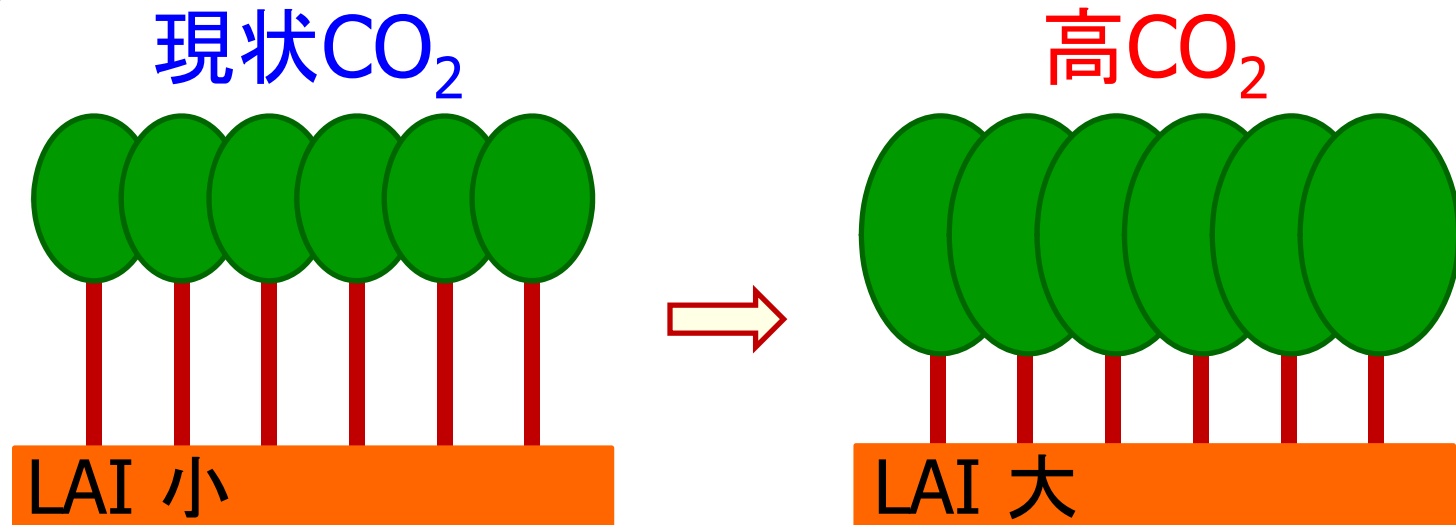


高CO₂によるLAIの増加率



葉量(LAI)への影響

<予想>

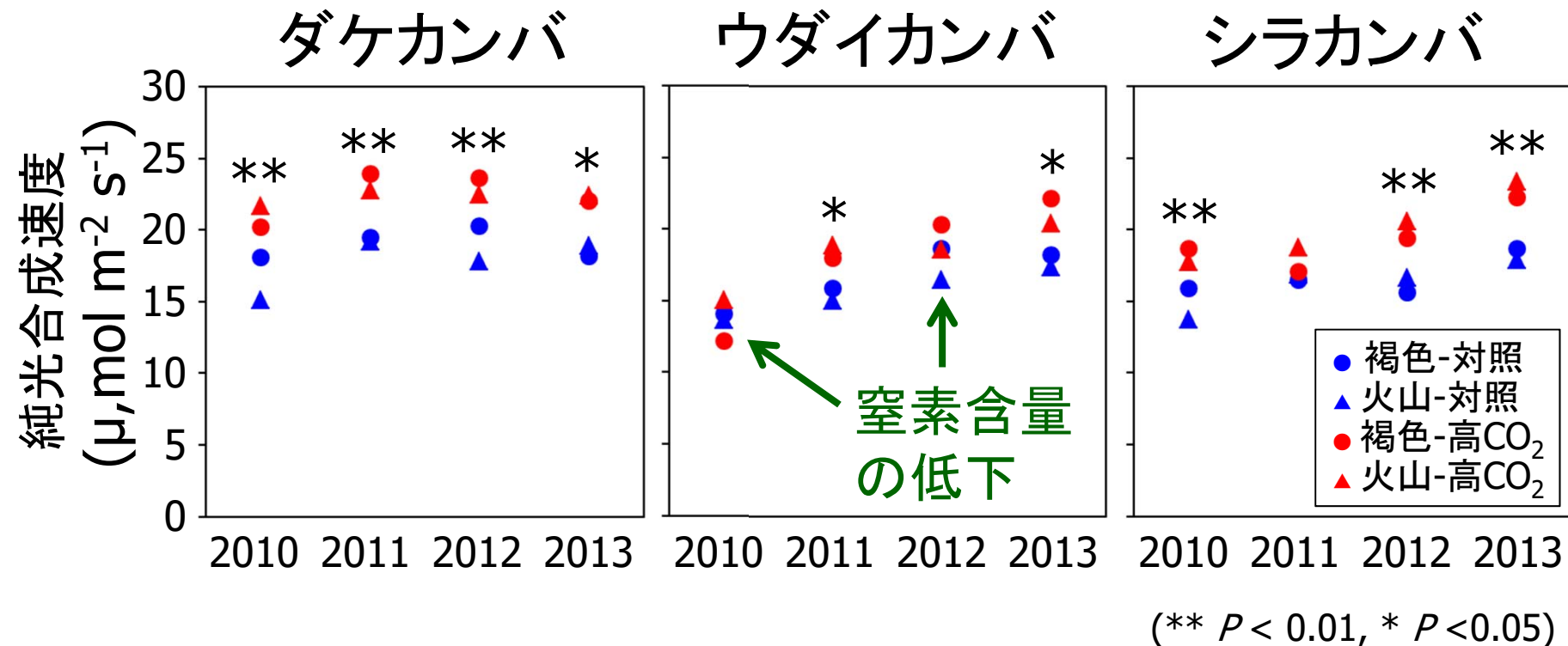


<結果>

- ・高CO₂によるLAIの増加は生育初期のみ(樹種による) 葉が混み合ってくると、高CO₂でもLAIが増えない。
- ・その後の生産増加は個葉の光合成速度が高CO₂で増加するかどうか(ダウンレギュレーションが起こるかどうかな)にかかっている。

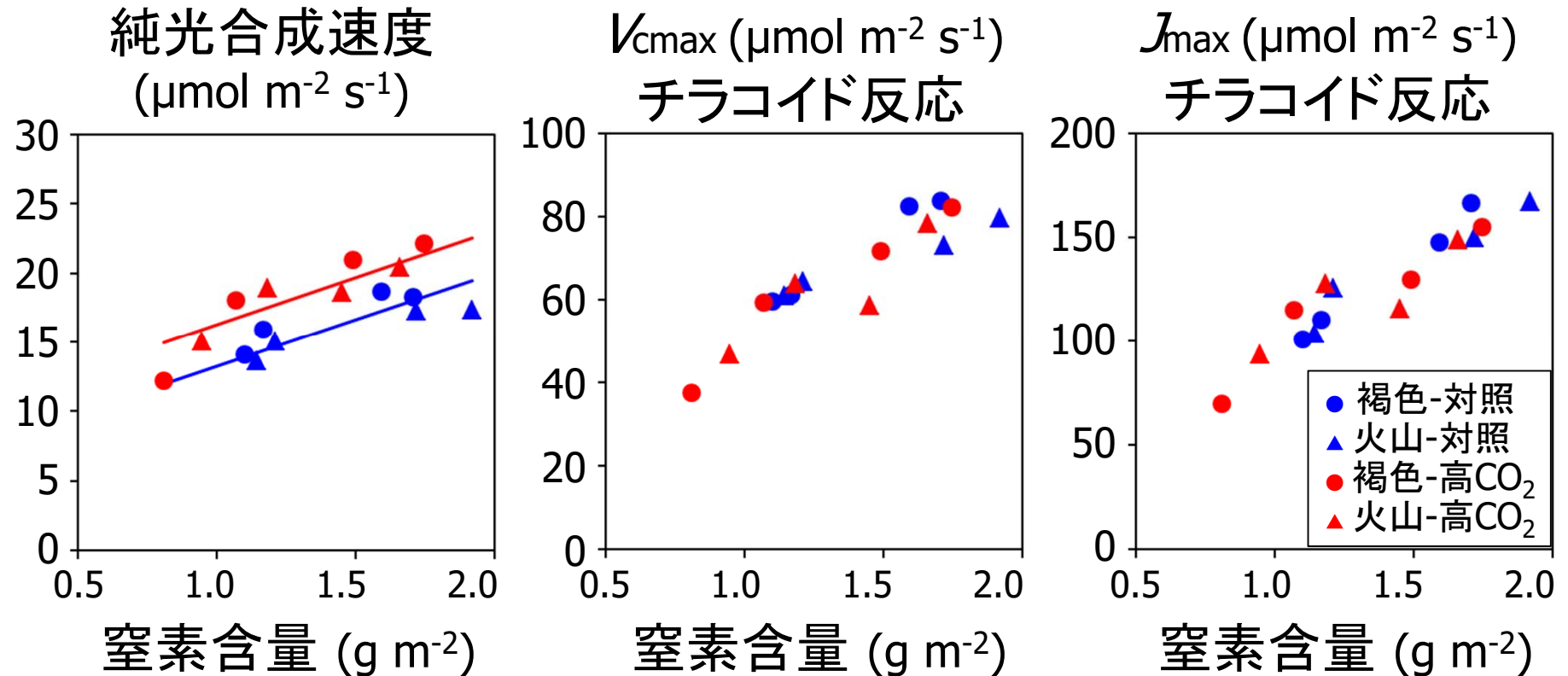
LAI = Leaf Area Index 単位土地面積あたりの葉面積(m² m⁻²)

純光合成速度の推移



成長増加が見られなかったウダイカンバでは
高CO₂環境でも純光合成速度があまり増加しない
→ 光合成のダウンレギュレーション

ウダイカンバの光合成と窒素含量



V_{cmax} : 最大カルボキシレーション速度 J_{max} : 最大電子伝達速度

光合成への窒素利用に高 CO_2 の影響なし
→ 葉の窒素含量の低下が高 CO_2 で起こった

まとめ

高CO₂による成長促進に樹種間差異

ダケカンバ・シラカンバ: 成長増加

(主に幹+枝成長の増加)

ウダイカンバ: 高CO₂の影響なし

LAIの応答

ダケカンバ・シラカンバ: 実験初期のみ増加

ウダイカンバ: 高CO₂の影響小

個葉の光合成応答

- ・ウダイカンバで光合成のダウンレギュレーション
 - ・窒素含量の低下に伴う葉内光合成活性の低下
-

環境植物学 第13回

高濃度CO₂に対する樹木の応答

1. 背景：大気CO₂濃度の増加
2. 光合成の解析
(A-Ciカーブと光合成の律速段階)
3. 光合成の順化応答
(ダウンレギュレーションとその要因)
4. FACE研究
 - a. 海外のFACE研究
 - b. 日本のFACE研究

参考文献

- Watanabe, M., Watanabe, Y., Kitaoka, S., Utsugi, H., Kita, K. and Koike, T. (2011) Growth and photosynthetic traits of hybrid larch F₁ (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) under elevated CO₂ concentration with low nutrient availability. *Tree Physiology*, Vol. 31, No. 9, 965-975.
- 渡辺 誠, 来田和人, 渡邊陽子, 北岡 哲, 宇都木 玄, 小池孝良 (2013) 貧栄養条件で栽培したグイマツ雑種F₁の高CO₂に対する応答. 森林遺伝育種, Vol. 2, No. 1, 13-17. http://fgtb.ac.affrc.go.jp/publish/FGTB_ISSN_2187-350X/Vol.2/FGTB_Vol2_No.1/FGTB_V2N1_commentary1.pdf
-

質問等がある方は

渡辺 誠 (5号館203室)

nab0602@cc.tuat.ac.jp

042-367-5820

まで連絡ください
