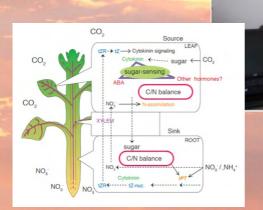
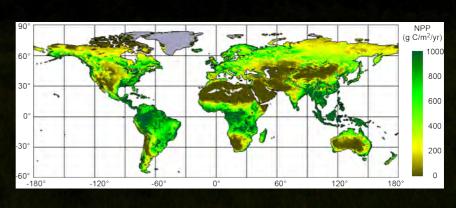
# 植物高CO2応答



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CO<sub>2</sub>応答の包括的解明」

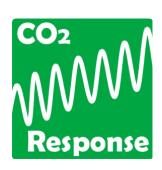
ニュースレターVol.3 2011年 1月



### 目次

# Contents

巻頭言:	明けましておめでとうございます。	1
新学術領域研究班からの論文紹介		2
研究班紹介		
榊原班	植物ホルモンを介した炭素・窒素栄養バランス情報の伝達システムの解明	5
柳澤班	窒素同化能力強化植物を用いたC/N相互作用に基づく高CO2応答ネットワークの解析	7
伊藤班	植物のCO2応答に関するメタ分析と生態系モデルの高度化	9
若手研究者研究紹介		11
関連集会報告		16
新学術領域総括班からの案内		20



巻頭言:明けましておめでとうございます。みなさん、今年も研究を楽しみましょう。

## Announce

東京大学 大学院理学系研究科 寺島一郎

2010年9月に、新しい新学術領域研究が始まりまし た。植物科学関係でも、岡山大学の馬建鋒さんが代表 の「大地環境変動に対する植物の生存・成長突破力の 分子的統合解析(植物環境突破力、http://bsw3.naist. jp/JFM/index.html)」、京都大学の長谷あきらさんが 代表の「植物の環境感覚:刺激受容から細胞応答まで (植物の環境感覚、http://physiol2.bot.kyoto-u.ac.jp/ ~Kaken/)」、基礎生物学研究所の長谷部光泰さんが 代表の「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明(複合適 応形質、http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJHome. html)」がスタートしました。私は、「植物環境突破 力」の助言委員をやることになり、最初の班会議に 行ってきました(11月4日~6日)。計画班の代表者が 計画研究について少し話した後に続いて、その班の卒 業研究生を含む若手の研究者が話をしました。各研究 室では事前に練習もしたとのことですが、大変レベル の高い話が続いたのですっかり感心してしまいまし た。私は負けん気の強い方ではないですが、先輩新学 術領域として、負けたくない、頑張らなければと思い ました。

というわけで、榊原さんと木羽さんのお世話で12月16日~18日に行われた伊東の若手の会には、少し不安な気持ちで参加しました。しかし、みなさんの話を聴かせていただき、この不安はきれいに吹っ飛びました。幅広い分野の専門家が参加しているため、議論が宙に浮かず、いいコメントが出ます。「このコンソーシアムならではだ!」と思いました。また、夕食会でも、その後の懇親会でも、研究分野の違う若手同士が、世間話だけではなく、活発な学問的議論も展開しているのを見て大変嬉しく思いました。世間話ももちろん結構なのですが・・・。ゲストの方々(前忠彦さん、泉井桂さん、林浩昭さん)にも、素晴らしいお話をいただいたばかりでなく、夜遅くまで、おつきあい

いただきました。あつくお礼申し上げます。有り難う ございます。

私自身は「若手」とつく会には、参加をつい遠慮してしまうのですが、今回は、沢山の若い人が話しかけてくれましたので、本当に議論を楽しみました。話しかけて下さった方、有り難うございます。

当初の計画では、年2回班会議(研究計画発表会、成果発表会)をやり、2年に1度ぐらい「若手の会」をというつもりでしたが、このような会がみなさんの学問の発展に有効ならば、班会議を1回にして、「若手の会」を毎年やってもいいと思い始めました。プレゼンテーションの時間が短いという欠点はポスターなども併用すれば、克服できると思います。

この新学術領域の発展は、若手のみなさんの努力なしでは不可能であり、みなさんそれぞれが主役です。 是非、主役としてのご意見・ご提案をどしどしお願いします(寺島のメイルアドレスは、itera@biol.s.u-tokyo.ac.jpです)。また、東京に用が有る時などには、遠慮なく私たちの研究室にお立ち寄りください。



瀬戸内海を見下ろすホテルで行われた「植物環境突破力若手 の会」。背景は本四架橋。

### 新学術領域研究班からの論文紹介

# Research manuscripts

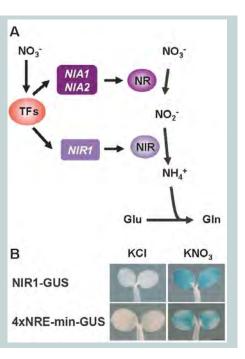
新学術領域研究班が最近発表した論文の一部をご紹介します。

### 硝酸応答型の転写に必要十分なシス因子の同定

植物体内に取り込まれた硝酸はアミノ酸生合成の基質となるだけでなく、シグナル分子としても機能して、さまざまな遺伝子の発現制御、炭素や窒素の代謝の制御などに深く関わっていることが示唆されています。しかしながら、硝酸に応答した転写を引き起こすために必要十分なDNA配列(シス配列)はこれまでに明らかにされていません。シロイヌナズナの亜硝酸還元酵素遺伝子のプロモーター領域の解析によって、硝酸応答に必要な領域(Nitrate-Responsive Element, NRE)を同定し、この配列が存在するだけで硝酸に応答した転写を引き起こすことができることを明らかにしました。この配列は双子葉植物と単子葉植物の両方の植物種の亜硝酸還元酵素遺伝子プロモーター中で保存されており、高等植物における硝酸応答型の遺伝子発現制御機構は類似していることが示唆されました。

Konishi M, Yanagisawa S (2010) Identification of the nitrate-responsive cis-element in the Arabidopsis *NIR1* promoter defines the presence of multiple cis-elements for nitrogen response. *Plant Journal*, 63:269-282.

硝酸の植物における2つの役割(A)と硝酸応答型プロモーター 制御下でのレポーター遺伝子の発現の硝酸誘導性(B)



### CO2と窒素固定の相互作用がダイズの収量を決める - 根粒非着生ミュータントを用いた検証

根粒菌はマメ科植物の根に根粒を形成し、植物が合成した有機物を利用して空気中の窒素をアンモニアに固定します。一方植物は根粒で同化された窒素を栄養源として利用します。マメ科作物では、それ以外の作物に比べてCO2による収量(種子生産)の促進が大きいことが知られています。私たちは、根粒着生ダイズ (Glycine max cv. Enrei) とその根粒非着生系統 (G. max cv. En1282) を用いて、高CO2下でマメ科作物の収量が増加するメカニズムを研究しました。グラディオトロン(二酸化炭素・温度勾配実験施設;東北農業研究センター)を用いてCO2濃度を200pm上昇させると、Enreiの収量は増加しましたが、En1282では変化が見られませんでした。Enreiにおける収量の増加は、開花後の窒素獲得と乾物生産速度の増加に依っていました。一方、開花前の窒素獲得と乾物生産速度は、いずれの系統においてもCO2による影響が見られませんでした。これらの結果は、高CO2下における根粒の増加が開花後に顕著であることと符号します。将来の高CO2環境におけるダイズの収量増加の鍵は、繁殖期における窒素獲得の増加であると結論づけました。

Oikawa S, Miyagi K, Hikosaka K, Okada M, Matsunami T, Kokubun M, Kinugasa T, Hirose T (2010) Interactions between elevated CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>-fixation determine soybean yield - a test using a non-noduled mutant. *Plant and Soil*, 330:163-172.

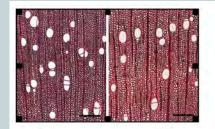


手前が根粒非着生系統のEn1282、奥が根粒着生系統のEnrei。非着生系統では、生育後期に土壌中の窒素が不足し、葉の老化が促進される。

### 広葉樹4種の木部構造の高CO。応答

高CO2環境では気孔が閉じ気味になり、蒸散量が少なくなります。私たちは茎を通る水の 量が減るため、茎の通水組織である道管直径が小さくなるのではないかと考え、開放系大気 CO<sub>2</sub>増加実験(FACE)施設にて落葉樹の稚樹を育成し、解剖学的な測定を行いました。広 葉樹には道管が木部一面に分布する散孔材(ウダイカンバ、イタヤカエデ)と太く通道機能 に優れた道管が年輪に沿って配列する環孔材(ハリギリ、ミズナラ)があり、それぞれ2種 ずつを実験材料としました。4年間のCO2付加処理の結果、樹高は環孔材2種で増加しました が、直径成長には明瞭な効果はありませんでした。また、環孔材2種では形成層の細胞数が 増加していましたが、それ以外の木部構造にはハリギリを除く3種では明瞭な変化がありま せんでした。ハリギリでは通常大気CO<sub>2</sub> (約370ppm)と比べると高CO<sub>2</sub> (500ppm)処理で太い 道管が出現しました。これは分枝の少ないこの樹種の特徴と考えられました。高CO2では多 くの樹木で枝分かれが生じることが多く、個体あたりの葉量が増加しました。結論として、 4樹種での調査結果では高CO2での木部構造の変化は樹種に固有であると考えられました。

Watanabe Y. Satomura T. Sasa K. Funada R. Koike T (2010) Differential anatomical responses to elevated CO2 in saplings of four hardwood species. Plant, Cell and Environment, 33:1101-1111.



370ppm 写真1. ウダイカンバ (散孔材)





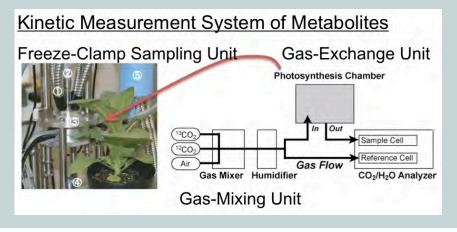
370ppm

500ppm 写真2. ハリギリ (環孔材)

### 高等植物生葉光合成でのCO2固定反応により獲得された炭素Cの代謝経路とその速度解析~安定同 位元素13Cを用いたフラックス解析による代謝律速段階の同定手法の確立

本論文では、植物細胞内において任意の代謝系の律速段階を見出す手法を確立したことを報告しています。遺伝子組換えによる 代謝酵素の強化・抑制あるいはマーカーによる分子育種を行う際には、代謝経路の速度を決める酵素が改良のターゲットとなりま す。私たちは、炭素代謝の要となる光合成によるCO2の固定に着目し、安定同位元素13CでラベルされたCO2を植物に取り込ませ、 <sup>13</sup>Cが糖や二次代謝産物への取り込まれる速度を、質量分析計(CE-MS/MS)を用いて評価しました。カルビン回路では、Rubiscoの 基質リブロース二リン酸の炭素が一つずつ13Cで置き換わっていく速度を測定しました。また、葉緑体内デンプン生合成における 律速段階が、グルコース6リン酸からグルコース1リン酸への変換であることを明らかにしました。今回確立した手法は、分子改良 に有効であるのみならず、植物・樹木がさまざまな自然環境に応答するとき、代謝変動・バランスのシフトを直接モニターするこ とを可能にしました。これにより、代謝化合物の量とフラックス(質)の2つの側面で生理応答を捉えることができるようになりま す。

Hasunuma T, Harada K, Miyazawa S, Kondo A, Fukusaki E, Miyake C (2010) Metabolic turnover analysis by a combination of in vivo <sup>13</sup>C-labelling from <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> and metabolic profiling with CE-MS/MS reveals rate-limiting steps of the C3 photosynthetic pathway in Nicotiana tabacum leaves. Journal of Experimental Botany, 61:1041-1051.

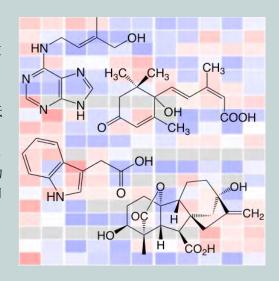


12C-CO2での光合成過程において、安定同位元素 13C-CO2をパルス的に取り込ませることにより、 13C置換光合成産物のモニタリングを可能にす る。<sup>13</sup>C置換後、フリーズクランプシステムによ り、経時的に生葉サンプルを取得し、質量分析シ ステムで12C/13C化合物を分別定量する。

### 植物ホルモンの超高感度・高速分析法の開発と応用

植物ホルモンは植物の形態形成や環境応答において重要な役割を演じています。その働きを正確に理解するためにはいろいろな植物ホルモンの量を同時に解析する技術が必要です。私たちは最新の質量分析装置を用いた植物ホルモンの分析定量技術の開発に取り組んできました。その結果、数十ミリグラムの植物組織を用いて、サイトカイニン、オーキシン、ジベレリン、アブシジン酸などの植物ホルモンを一斉に測定する技術を確立しました。さらなる高感度化を図るために、検出感度の低いホルモン分子を、化学修飾により検出感度を高める技術 (MS-probe 修飾法) も開発しました。この技術を応用して、イネの各器官の植物ホルモンの分布を明らかにし、さらにイネのジベレリンの情報伝達に関わる遺伝子の変異体では、各種の植物ホルモンが相互作用していることを明らかにすることが出来ました。この技術を用いることで植物ホルモンの作用機作の理解が一層進むことが期待されます。

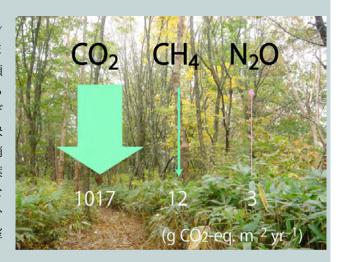
Kojima M, Kamada-Nobusada T, Komatsu H, Takei K, Kuroha T, Mizutani M, Ashikari M, Ueguchi-Tanaka M, Matsuoka M, Suzuki K, Sakakibara H (2009) Highly-sensitive and high-throughput analysis of plant hormones using MS-probe modification and liquid chromatography-tandem mass spectrometry: an application for hormone profiling in *Oryza sativa*. *Plant and Cell Physiology*, 50:1201-1214. (Special issue for Omics and Bioinformatics)



本技術で一斉解析が可能になった植物ホルモン (左上からサイトカイニン、アブシジン酸、オーキシン、ジベレリン)

### 森林における3種類の温室効果ガス交換をモデルで推定

地球の気候は、大気中の二酸化炭素( $CO_2$ )だけでなく、メタン( $CH_4$ )や亜酸化窒素( $N_2O$ )といった温室効果ガス濃度に影響を受けます。地球温暖化に対する森林の応答を理解し予測するには、これら3種類のガス交換について定量的に把握しなくてはなりません。そこで、私たちのグループでは、陸域生態系の温室効果ガス交換をシミュレートするモデル(VISIT)を開発しました。 $CO_2$ 交換は光合成と生態系呼吸の収支で決まりますが、 $CH_4$ は土壌の温度・水分条件に応じた酸化速度、 $N_2O$ は硝化・脱窒による放出速度で決まります。そのモデルを岐阜県高山市の落葉広葉樹林に適用し、タワー観測やチャンバー観測データと比較して検証を行いました。日本の森林の場合、 $CO_2$ 交換の寄与が大部分であることが分かりましたが、今後は世界の多様な生態系に適用することで3種類の温室効果ガスの挙動の理解にこのモデルを利用していく予定です。



Inatomi M, Ito A, Ishijima K, Murayama S (2010) Greenhouse gas budget of a cool temperate deciduous broadleaved forest in Japan estimated with a process-based model. *Ecosystems* 13:472-483.

### 研究班紹介

# Research group

本ニュースレターでは研究班の研究内容を紹介します。本号では榊原班・柳澤班・伊藤班の研究内容を紹介します。

### 植物ホルモンを介した炭素・窒素栄養バランス情報の伝達システムの解明

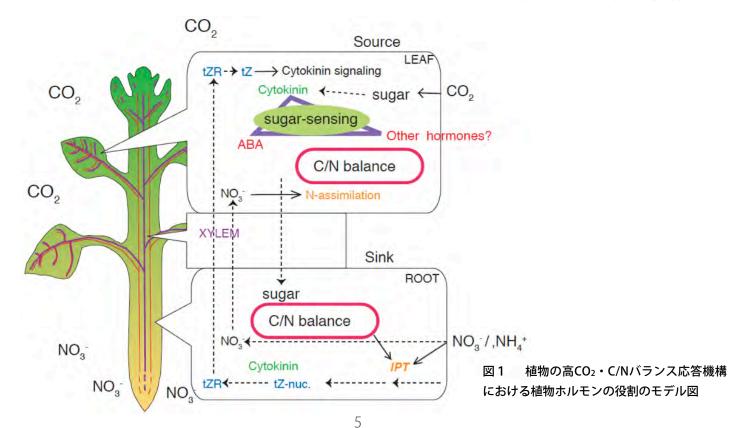
研究代表者:榊原 均 研究分担者:木羽 隆敏 連携研究者:信定 知江

### 高CO2に対する代謝的応答と形態的応答

植物を高CO2環境下で生育させると、大気条件に比べ大きく育ちます。この可視的な違いがでるまでには、高CO2処理した植物内で、気孔から取り込まれる単位時間当たりのCO2量の増加→炭素同化量の上昇→C/N比変化を補うための窒素同化量の上昇→生体分子構成成分(アミノ酸、核酸、糖など)の合成と供給量の増加→それに見合う生育速度と形態形成の調節、というイベントが起こっているものと推測されます。このように、植物は代謝調節とともにその代謝に最適な形態形成をすることで、植物個体全体としてのバランスを維持しています。この代謝と形態応答のリンクを理解する上で欠かせないのが植物ホルモンとの関係です。

### 炭素・窒素栄養バランスと植物ホルモン

植物ホルモンは外環境変化に対する形態的、代謝的応答のためのシグナル分子として重要な役割を担っています。私達の研究室では窒素栄養応答における代謝と形態形成の相互制御システムについて研究を進めています。これまでの研究から、サイトカイニンは窒素栄養供給量によりその生合成が調節され、局所シグナルおよび器官間情報伝達シグナルとして光合成機能、シンク・ソースバランスを制御していることを明らかにしています。シロイヌナズナではサイトカイニンの生合成の律速酵素であるIPT遺伝子の1つ、IPT3が硝酸イオンによって正の発現調節を受けています。ただし、高CO2環境下やC/N栄養バランス比による植物ホルモン全体の代謝調節や



情報伝達の制御、それに関わる遺伝子についての理解は進んでいません。おそらくC/N比の変化によるホルモン代謝調節には複数の作用点があり、それらが協調的に制御されることで植物生長の最適化が行われていると考えられます。本研究ではシロイヌナズナとイネを用いて、高CO2環境への馴化機構における植物ホルモンの役割とその統御メカニズムの解明を目指します。

本研究ではまず、高CO<sub>2</sub>条件にしたときの主要ホルモン内生量の経時的変化を明らかにします。同条件で取得したアレイデータなどと比較解析しながら、植物ホルモンを介した高CO<sub>2</sub>応答とC/N栄養バランス情報伝達に関わる遺伝子の絞り込みを行い、それらの機能解析を行うことで、この馴化過程へのホルモンの関わりを分子レベルで理解したいと考えています。

#### ホルモン解析システム

私達の研究室ではサイトカイニン、オーキシン、アブシジン酸、ジベレリン、サリチル酸、ジャスモン酸の活性型および不活性型を合わせ、合計46分子種の化合物を1つのサンプルから同時に測定する方法を確立しています。96穴プレート型の固相抽出カラムと自動抽出機を用いることで一度に180サンプルを解析できます。これまでの植物ホルモン研究はそれぞれのホルモンの作用機作などの理解に主眼が置かれてきましたが、ホルモンは互いに相互制御していることから、ホルモンの消長を一度に知ることは植物のホルモンを介した環境応答機構を知る上で非常に重要です。

すでに本領域の班員の方からの相談・依頼も受け、共 同研究ベースで測定をしています。ご興味のある方は榊 原までコンタクトください。





図2 自動固相抽出システム(上)と UPLC-四重極タンデム質量分析装置(下) カラムによる固相抽出・分離の過程を自動 化することで作業の効率化とデータ精度の 向上を実現した。このシステムとUPLC-四 重極タンデム質量分析装置によりホルモン 解析を行っている。

### 窒素同化能力強化植物を用いたC/N相互作用に基づく高CO2応答ネットワークの解析

研究代表者:柳澤修一

独立栄養生物である植物は土壌中から吸収した無機栄 養と大気中のCO2から光エネルギーを利用して、糖、ア ミノ酸、脂質、核酸などの生命活動に必要な生体構成分 子の生合成を行って生きています。移動できない植物 は、おかれた環境に適応して、これらの生合成量を調節 して生きており、栄養環境の違いは植物の生長や光合成 量に大きな影響を及ぼします。特に、土壌中の窒素量は 光合成量に大きな影響を及ぼす重要な要素となっていま す。一方で、光合成産物から生合成される2-オキソグル タル酸が窒素同化のための炭素骨格として使用されるた め、植物における窒素同化は光合成に依存しています。 このことによって植物の炭素代謝と窒素代謝は密接な関 係にあり、互いに影響を及ぼし合っています。私たち は、この炭素代謝と窒素代謝の相互制御の分子メカニズ ムの解明と炭素代謝と窒素代謝の植物栄養に応答した調 節の仕組みの解明を目指しています。

炭素代謝と窒素代謝の相互制御の分子メカニズムを明らかにするための手がかりは、有機酸代謝経路の複数の酵素遺伝子の発現に関与する転写因子Dof1を導入したシロイヌナズナの解析から得られました。この形質転換体では2-オキソグルタル酸生合成経路の活性化に伴って窒素の同化量が増大しており、また、窒素源を制限した栄養環境での生育が改善していました(Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101: 7833-7838, 2004)。

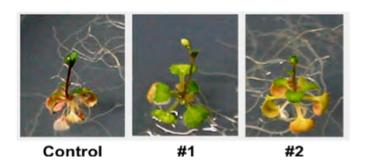


図1 野生型のシロイヌナズナ(control)とDof1遺伝子を発現しているシロイヌナズナ(#1と#2)の窒素源を制限した栄養環境における生育

このことによって炭素骨格の流入量が窒素同化量を規定する大きな要因であることが示されました。この形質転換体では窒素同化量の増加に基づき特定の生育環境では光合成量も増大していることも判明したことから、この現象のメカニズムの解析を進めています。また、この形質転換体の高 $CO_2$ 応答と野生型株の高 $CO_2$ 応答を比較することにより窒素同化能力の変化が植物の高 $CO_2$ NETに及ぼす影響を明らかにできることから、その解析を進めています。

このような遺伝子改変や栄養環境の変化に基づく植物の一次代謝の変化を明らかにするために、メタボローム解析やプロテオーム解析などの包括的解析を行っています。メタボローム解析には、キャピラリー電気泳動装置(CE)とMS分析装置を組み合わせた装置(図2)を用いており、これによって有機酸、アミノ酸、糖リン酸の分析を行っています。また、糖の分析はイオンクロマトグラフィーによって行っています。これらの方法によって、植物の一次代謝の主要な代謝物の網羅的解析が可能となりました(Metabolomics 6: 529–540, 2010)。また、プロテオーム解析は、ナノフロー液体クロマトグラフがオンライン接続されているMS分析装置(nanoLC/MS/MS)を用いてショットガン法によって行っています(図2)。

#### CE/MS



nanoLC + MS/MS



図2 メタボローム解析用のCE/MSとプロテオーム解析用のnanoLCとMS/MS装置

これによって、多数のタンパク質を含む1マイクログラム以下のタンパク質試料を用いて100個程度の植物タンパク質を同定することが可能となりました。この解析手法により、ごく微量しか得られないイネの篩管液中にFT様タンパク質などの情報伝達に関わるタンパク質が存在することを示しており(Plant Cell Physiol. 49: 767-790, 2008)、また、新しい糖応答性を示す核タンパク質の同定に成功しています(J. Proteome Res. 8: 3912–3924, 2009)。

一方で、植物栄養による炭素代謝と窒素代謝の調節については、主に分子生物学的実験手法を用いて、硝酸による転写制御の分子メカニズムを中心に解析を進めています。陸上植物にとって主要な窒素源となっている硝酸は根の形態形成などにも及ぼすシグナル分子としても機能しています。硝酸は、硝酸吸収に必要な硝酸トランスポーターや硝酸還元プロセスの酵素(硝酸還元酵素や亜硝酸還元酵素)の遺伝子の発現を直接的に制御しており、また、光合成遺伝子の発現なども硝酸シグナルの制

御下にあることが知られています(図3)。硝酸応答型の転写制御の分子メカニズムの解明のために、硝酸応答に必要十分なシス配列を亜硝酸還元酵素遺伝子プロモーター中に特定しました(Plant J. 63: 269-282, 2010)。現在、その分子機構の全貌の解明を目指しています。

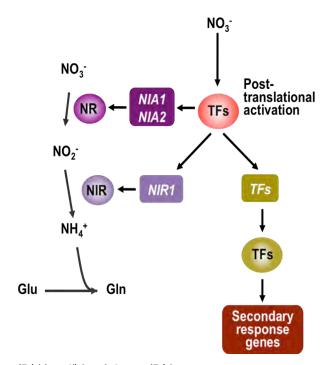


図3 硝酸イオンの基質としての役割とシグナルとしての役割

NIAは硝酸還元酵素遺伝子、NIRは亜硝酸還元酵素遺伝子、TFは未だ未同定の転写因子。

### 植物のCO2応答に関するメタ分析と生態系モデルの高度化

研究代表者:伊藤昭彦 連携研究者:飯尾淳弘・安立美奈子・羽島知洋

#### なぜモデル?なぜメタ分析?

私たちのグループは、植物のCO2応答をできるだけ広域的に評価することを目標としています。広域的な評価、特にグローバルな評価は、植物によるCO2吸収すなわち温暖化へのフィードバック効果を明らかにするために必要です。歴史的にも、植物によるCO2固定とO2生成が地球の大気組成、そして気候を変えてきたのは間違いないですし、今後数十年の気候変動においても植物によるフィードバック効果が重要な意味を持つ可能性が示されています。また、生態系による環境調節などの公益的機能(生態系サービス)がどう変わっていくかを予測する上でも、植物のCO2応答を流域や地域などの大きなスケールで解明する必要があります。

大気CO<sub>2</sub>は世界中のどこでもほぼ同じ速度で増加していますが、それに対する植物の応答はそれぞれの場所の生理的特性や環境条件で大きな差が見られます。そのため、植物機能タイプや立地条件を考慮した評価を行わなければなりませんが、広域では実験や直接観測が難しいことから、植物応答のメカニズムを取り出したモデルによるシミュレーションや、各地の観測データを文献から抽出して横断的に解析するメタ分析が有効な方法となります。

新学術領域のコンソーシアムの中では、現在進んでいる温暖化研究でどのような植物CO<sub>2</sub>応答研究が求められているかの動向を紹介し、国内外の関連プロジェクトとの連携を促進する役割も担えたらと考えています。

#### 温暖化研究における生態系モデルの役割と課題

生態系モデルと一口に言っても、実は様々なバリエーションがあります。生物の教科書に出てくるような個体数増減の簡単な微分方程式も、広い意味では生態系モデルと言えるでしょう。私たちが用いているのは、光合成や呼吸など個々のプロセスを生理生態学的なメカニズムに基づいて数式化し、植物バイオマスや土壌有機物などの炭素ストックの変化を再現するモデルです(実際には水分や窒素の動態も含まれます)。

光合成を表現するモデルとしては、オーストラリア国立大学のGraham D. Farquhar博士らが開発したモデルが有名で、私たちのモデルにも導入されています。このモデルは光合成の生化学反応をエレガントに表現しており、実際に比較的短期間のCO2応答をよく再現できるとされています。しかし温暖化研究で使おうとすると課題も残されています。広域評価では、植物特性の空間的不均質性を考慮しなくてはなりませんが、それぞれの場所

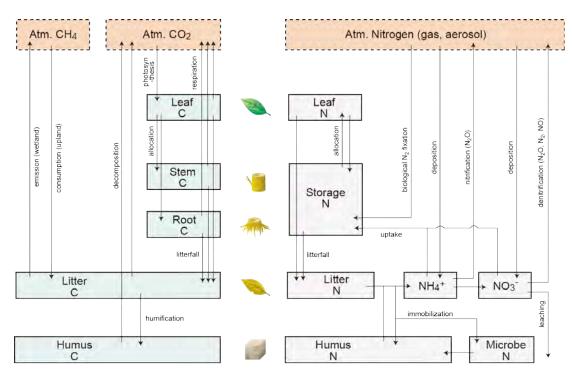


図1 陸域生態系モデルVISITの構造(Inatomi, Ito, et al. 2010).

におけるパラメータ(例えば最大カルボキシレーション 速度や量子収率)を決めるのは簡単ではありません。ま た、環境変動が長期にわたって進むことで、植物に順化 が生じて特性パラメータの値が変わってしまうかもしれ ませんし、場合によっては植物自体の分布が変わってし まうこともあるでしょう。このような問題はコンソーシ アムで扱う他の表現型 (PEPPs) にも言えることで、各 班の成果を用いてこれらをどう解決していくかが、私た ちのグループの大きな課題となっています。

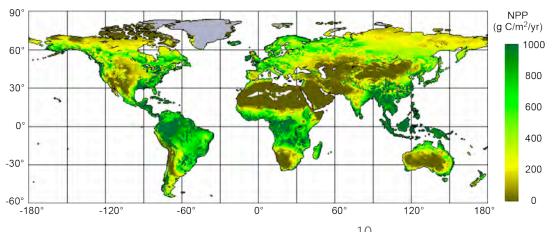
私たちが開発している陸域生態系モデルには、VISIT (Vegetation Integrative SImulator for Trace gases) と いう名前が付けられています。このモデルのそもそもの 目的は、大気と陸域との間の微量ガス、特に重要な温室 効果ガスであるCO2の交換量を推定することですが、そ れを高精度で行うために生態系内でのダイナミクスも 様々な形で取り入れられています。図1に示したのはこ のモデルの構造ですが、炭素や窒素の流れをシミュレー トした結果として、温室効果ガスの交換が再現されてい ることが分かります。このモデルを用いて推定した現在 のグローバルな純一次生産力(植物自体のバイオマス生 産力または正味CO<sub>2</sub>交換)分布を図2に示しました。こ こでは、場所ごとの気候や植生分布データに基づき、モ デル計算を行っています。光合成や気孔開度の計算では CO2応答が考慮されていますので、例えば大気CO2濃度 が倍増した場合や気温が3度上昇した場合を想定した数 値実験を簡単に行うことができます。これと同じ系列の モデルは、国立環境研究所などで開発された大気-海洋モ デルと結合され、陸域生態系の応答を取り入れた温暖化 予測などに貢献しました。また、別のプロジェクトで は、森林による炭素吸収機能の評価にもこのモデルを利 用しています。

#### メタ分析で隠れていた関係を明らかにする

同じ目的で行われた別個の研究の結果を横断的に統計 解析し、一般的な傾向を見いだそうとする手法をメタ分 析と言います。私たちのグループでは、広域に分布する 様々な植物機能タイプのCO2応答を現実的に特徴づける 情報を得るため、メタ分析を重視しています。これは膨 大な文献を精査することになるため、想像よりもずっと 大変な仕事なのですが、2010年4月から新領域のポスド クとして国立環境研究所に来られた飯尾さんに担当して もらっています。世界各地でファイトトロンやFACE (ニュースレターNo.1 小池班の紹介参照)を用いた高 CO2暴露実験が行われてきました。それらは実験材料や 設定条件に固有な結果ですし、何らかのバイアスがか かっているかもしれません。しかし、多くの研究結果を 集めることで、植物の一般的な応答パターンが見えてき ます。また、植物や条件ごとの応答差も浮かび上がって くると期待されます。これまでも、世界にはこのような 視点でメタ分析を行ったグループがありますが、私たち はコンソーシアムのものを含めた最新のデータを収集解 析することや、モデル開発に直結した視点でメタ解析を 行うことにより、新たな知見を提供できると考えていま す。

#### コンソーシアムに向けて

分子生物学から生態学まで、様々な生物学的レベルの 研究者が参画するこのコンソーシアムに参加すること は、私たちのグループにも大きなチャレンジです。生態 系の物質循環のような空間的に大きなプロセスを扱うモ デルに、遺伝子や細胞のCO2応答に関する研究成果(例 えばCO2NET)を反映させることは、一見とても困難な ことのように思えます。それでも、中間にいくつかス テップを設け、段階的に歩み寄っていくことで、最終的 にはシームレスな理解につながっていくのではと期待し ながら研究を行っています。



陸域生態系モデルVISITで 図 2 推定された純一次生産力の分布 (Ito and Oikawa 2004; Ito and Inatomi, submitted) .

### 若手研究者研究紹介

# Young researcher

本領域に関連して研究している若手研究者の研究内容を紹介します。本号では、牧野班で研究している須藤恵美さん、唐班で研究している冨松元さんを紹介します。

### 須藤恵美

Emi Sudo

(東北大学・ポスドク)



#### 本領域での担当

本プロジェクトにおいて、個葉光合成と個体成長の双方の視点から主要作物イネのCO2環境応答について解析を行います。Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco)量の特異的な増減に成功させた形質転換体イネを用いて、Rubiscoによる光合成の律速性が高まる低CO2環境および低温環境が、そのバイオマス生産、個体成長、個葉レベルでの光合成機能に与える影響を調べます。また葉身でのデンプン・糖合成系の遺伝子破壊系統を高CO2環境で生育させ、CO2環境の違いによって変動の大きいデンプンと糖の消長と光合成、および個体成長の変化に着目し解析を進める予定です。

#### これまでの研究

### 1. 光合成RuBP再生産能力の植物種間差(東北大農)

Rubilose-1,5-bisphosphate(RuBP)はRubiscoによる 炭酸固定反応の際のCO2受容体であり、光合成電子伝達・光リン酸化反応から合成されたATP、NADPHにより

カルビン回路を介し再生産されます。このRuBP再生産速 度は、C3植物において高CO2条件下の光合成速度を律速 します(Farquhar et al. 1980)。葉身窒素量ベースで比 較すると、コムギはその優れたRubisco capacityにより大 気CO<sub>2</sub>条件でイネよりも高い光合成速度を示しますが (Makino et al. 1988) 、CO2飽和下の光合成速度もコム ギの方が高く、コムギの高いRuBP再生産能力が示唆され ました。両種のRuBP再生産能力の決定因子は、イネにお いて高CO2環境での光合成能力増強を目指す上で重要な ファクターとなります。そこでRuBP再生産に密接に関わ る光合成電子伝達・光リン酸化系、最終産物合成系、カ ルビン回路酵素等に着目し、両種の葉身について光合成 因子の定量的解析を行いました。その結果、コムギでは 光合成電子伝達系のCyt b<sub>6</sub>/f複合体を構成するCyt fの含量 やカルビン回路酵素である葉緑体型FBPase (cpFBPase) の活性が著しく高く、さらにイネとコムギのRuBP再生産 速度の差はCyt f含量およびcpFBPase活性の違いにより定 量的に説明されました(Sudo et al. 2003)。

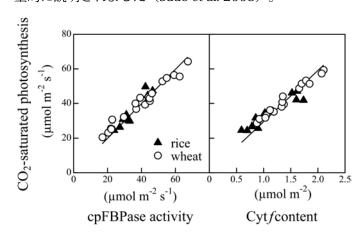


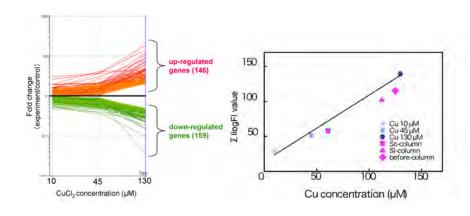
図1 イネとコムギにおけるcpFBPase活性およびCyt f含量に対するCO<sub>2</sub>飽和 (*pCi* > 60 Pa) の光合成速度.

イネとコムギのプロットはそれぞれ1本の直線に回帰され、両種のRuBP再生産速度の差はCyt f含量およびcpFBPase活性の違いから定量的に説明された.

# 2. モデル植物イネの遺伝子発現からの環境毒性評価(理化学研究所)

文部科学省リーディングプロジェクトの一環としての、環境科学的な分野の仕事です。モデル植物イネを用い、様々な焼却灰や排ガスの安全性評価を進めるとともに、マイクロアレイ解析を通じ、遺伝子発現から環境毒性を迅速・高感度に診断するための毒性応答性遺伝子の選抜を行うことが、主要なミッションでした。解析の過程で焼却灰中の毒性因子のひとつに重金属Cuが挙げられた経緯もあり、Cu毒性に関する以下の仕事も進めました。まずイネ根にCuCl2を曝露させ、イネ葉身についてマイクロアレイによる遺伝子発現の網羅的解析を行い、Cu曝露濃度に応じて発現を増大の減少させるCu応答性遺伝子を305種選抜

しました。Cu応答性遺伝子群の発現パターンについてクラスター分析や主成分分析、遺伝子発現変動幅の数値化を行うといった手段から、未知試料のCu毒性の定量的評価に成功しました(Sudo et al. 2006)(水系のCu浄化に有効なホンモンジゴケによる高いCu除去効率(Itouga et al. 2006)を、イネ葉身のCu応答性遺伝子群の発現解析から評価)。ちなみにCu応答性遺伝子群の組成から、Cu曝露により生体防御、ストレス応答系の遺伝子群は発現増大、光合成、物質輸送関連の遺伝子群は発現減少する傾向を確認出来ました。また各遺伝子の発現に関するCu感受性をCuCl2の50%影響濃度(EC50)から見積もったところ、防御系の遺伝子はCu曝露に対して高い感受性をもって応答していることが分かりました(Sudo et al. 2008)。



### 図2 Cu応答性遺伝子305種(左). Cu曝露 濃度に対するCu応答遺伝子の遺伝子発現変動 幅Σ|logF|値(右).

 $\Sigma$  | logF|値:各遺伝子の発現強度比F(処理区/コントロール区)の対数を絶対値で表した値の総和.  $\Sigma$  | logF|値はCu曝露濃度と高い正の相関を示し(右)、未知試料のCu毒性の指標と出来ることが期待される.

# 3. 植物組織におけるフラボノール類の非破壊的マッピングの試み(東北大学際センター)

生物学と光工学の融合研究の一環として、植物組織における様々な生体機能物質についての非破壊イメージングを目指しました。その一歩として、フラボノイド類の発する自家蛍光を利用し、タマネギ鱗葉の背軸側表皮に含まれるフラボノール(主にケルセチン配糖体)の非破壊的マッピングを試みました。緑色蛍光の分布や強度から、表皮細胞群におけるフラボノール蓄積量に細胞間差異が見られ、フラボノールの不均一分布が示唆されるとともに、タマネギ鱗葉へ紫外線を照射すると表皮細胞群全体においてフラボノールの増強が行われ、フラボノール含量の少ない細胞でのストレス感受性を補償するような応答も確認出来ました(Sudo et al. 2009)。

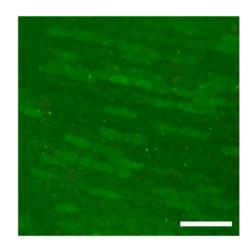


図3 タマネギ鱗葉の背軸側表皮におけるフラボノール分布. 背軸側鱗葉から発せられた緑色蛍光(青色光励起)を緑色疑似 カラーで示している.表皮細胞内を埋めるように分布する蛍光 がフラボノール由来であると考えられ、表皮細胞群におけるフ ラボノール蓄積量の細胞間差異が示唆された. Bar = 500 μm.

### 富松 元 Hajime Tomimatsu

(国立環境研究所・生物圏環境研究領域・ポスドク)

#### 本領域での担当

本プロジェクトにおいて、私は高CO2濃度環境下での 光合成誘導反応に関する研究を担当しています。光合成 誘導反応とは、光強度の上昇に対する植物の光合成の応 答反応です。植物の多くは、雲量の変化、近隣個体の被 陰などによって、光強度が時間的に刻々と変化する中で 生育しています。このような変動する光環境下での光合 成速度が、高CO2環境によってどのように変化するのか を明らかにします。そこで、モデル植物(4-5種)を異な るCO2濃度環境下で栽培し、ガス交換と酵素活性を測定 します。これらの測定結果から、光合成誘導反応のCO2 応答メカニズムを探ります。また、観測されたパラメー タを変動する光強度に応答できる光合成シミュレーショ ンモデルに組み込むことで、高CO2環境下での光合成誘 導反応が物質生産に及ぼす影響を定量的に評価します。

#### これまでの研究

植物は「動けない」ため、環境変化に対する生理的応答能力が極めて重要になります。これまで、私は野外の様々な環境変化(土壌水分、光、また放牧などの人為的要因も含む)に対して、植物がどのように応答しているのかに興味を持ち、個葉、個体群、群落の様々な視点から研究を実施してきました。また、植生光反射特性の地上計測による草地植生の生理活性や、植物の形態・生理特性と動物の採食選択特性との関係などに着目した研究も行ってきました。

### 1. 土壌水分の違いが葉の老化に与える影響

多くの植物では、光合成速度と葉寿命の間にトレードオフの関係が存在します。即ち、光合成速度の高い葉は寿命が短くなります。一方、葉寿命は土壌水分によって変わることも一般的に知られています。例えば、湿潤地に生育する植物は、乾燥地に生育する同種個体と比べて、葉の光合成速度が高く、葉寿命が短くなります。そこで、私は光合成速度と葉寿命とのトレードオフの関係が、異なる土壌水分環境下でどのように変わるのかを明らかにするため、土壌水分が連続的に変化する、冷温帯域の森林下層の沢沿い北斜面にそって帯状調査区を設定し、光合成速度と葉寿命に関する現地調査と移植実験を

行いました。研究対象とした夏緑性多年生草本Parasenecio yatabei(ヤマタイミンガサ)の地上部は、1枚の葉と1本の茎のみで構成されるシンプルな形態です(写真1)。



写真1: Parasenecio yatabei(ヤマタイミンガサ) 春先の調査地にて(2006年4月15日撮影 冨松)

このようなモデル植物を利用すると、葉寿命に大きな影響を及ぼす個体内葉の相互被陰や栄養塩の再利用などの要因を配慮する必要がありません。そのため、実験計画を効率的に進めることができ、また結果の解釈も容易になると考えました。その結果、乾燥した生育地ほどヤマタイミンガサの葉寿命が短くなりますが、その関係は土壌水分がある閾値以下の乾燥条件下でのみで存在し、その閾値を越えると葉寿命が土壌水分と無関係になることが明らかになりました(図1、Tomimatsu and Hori 2008 JPR)。

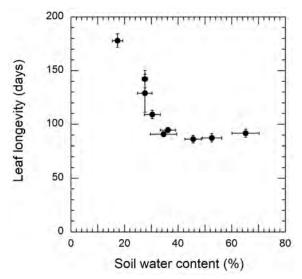


図1: 土壌水分に対する葉寿命の関係

沢沿い斜面に生育するヤマタイミンガサ純群落に、斜面勾配に沿って幅2mの帯状調査区(12m)を設定。斜面に沿って1mごとに区画し、区画ごとの土壌体積含水率と葉寿命の関係をプロットした。

また、湿潤地ほど光合成速度が高く、光合成速度と葉寿 命(地上部の生残期間)との間でのトレードオフの存在 が明らかになりました。さらに湿潤地と乾燥地の個体の 植え替え実験によって、ヤマタイミンガサの葉寿命は、 植え替え後の土壌水分環境条件に応じて変化することが 明らかになりました。このことは、土壌水分と葉寿命の 関係が、ヤマタイミンガサ個体の生育地への馴化の範 囲、即ち可塑的な形質であることを示唆します (Tomimatsu et al. 2009 PSB)。さらに、生育期間を通 じて葉内の窒素量が変化しないにもかかわらず、最大力 ルボキシル化速度(Vcmax: 葉内二酸化炭素濃度(Ci)-光合成(A)関係の初期勾配)が減少しました(図 2)。しかも、この葉齢に伴うVcmaxの低下は、光合成速 度の高い湿潤地の個体で大きいことが明らかになりまし た。この結果は、光合成速度の高い個体で、老化が早い ということを示唆しています。これらの具体的なメカニ ズムについては現在十分に理解されていません。近年、 Rubiscoが活性酸素によって直接分解されることが明ら かになってきています。光合成活性の高い植物の葉にお いて、老化が進むのはこの活性酸素が関与している可能 性があります。今後の研究が期待されます。

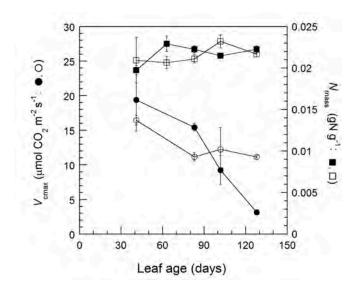


図2: 葉齢にともなう最大カルボキシル化速度( $V_{cmax}$ )と 葉内窒素含有率( $N_{mass}$ )の変化

■ 湿潤地個体のV<sub>cmax</sub>; ○ 乾燥地個体のV<sub>cmax</sub>; ■ 湿潤地個体のN<sub>mass</sub>; □ 乾燥地個体のN<sub>mass</sub>

# 2. 植生光反射特性の地上計測による草地の生理状態に関する診断方法の開発

植物(または植生)表面からの太陽光の反射特性(反 射光の量と質)は、植物の生理情報を知るための有効な 手段の一つです。しかし、反射特性からどのように生理 情報を正確に得られるかに関する知見が乏しいのが現状 です。現在の技術では、植物または植生の反射特性の計 測はさまざまな距離から(宇宙空間の衛星や数千メール の航空機また地上の数メートルの高さから)可能です。 私は、栃木県那須塩原市の藤荷田山をモデルフィールド として、優占種、管理方法の異なる様々なタイプの半自 然草地に光反射の地上計測技術を適用しました。地上で の光反射計測は、植物の生理情報をより精密に把握する ことができます。その結果、草地群落の光反射率特性か ら、バイオマス、生理活性等を高精度に示す分光指標を 提案し、GPSと組み合わせることによって、草地の生理 活性を空間データとして示すことができました (Tomimatsu et al. 2008 SATECO)。また、分光波 長が植物種ごとに異なる特性を利用することで、草地を 優占植物種別に区分できる可能性を示しました (Tomimatsu and Itano 2009 GRS)。今後、これらの技 術が深化することによって、植物種ごとの分光反射率情 報やその空間分布の把握が可能となれば、植物多様性を 含むさらに多くの情報を広範囲で把握できることが期待 されます。

#### 3. 放牧牛の選択採食と植生変化

現在の日本は農耕地などの減少によって放棄地が増えています。これらの放棄地には、さまざまな野生植物が生育し、植物多様性の重要な資源でもあります。一方、一部の放棄地では、すでに牛放牧などに利用されています。牛は植物を選択的に採食しますので、その嗜好性を把握することにより、放棄地の植生(優占種、種組成または種数など)が牛放牧によってどのように変化するか予測できるかもしれません。そこで私は、東北大学FSC(旧川渡農場)において、放牧前後の植生変化から、放牧牛による草丈や植物種類の変化を様々な角度から探ってみました(e.g. Tomimatsu et al. 2011 IRC)。今後は、放棄地の植物種構成と、家畜の嗜好性とを関連づけることで、放棄地の高い生物多様性や良好な土壌環境を維持しながら未利用資源を活用できる、より有効な放牧管理方法の開発が期待されます。

# 4. 高CO₂環境下での光合成誘導反応のプロセス解明と物質生産への影響評価

これまでの研究では、高CO2濃度下で生育した植物は、 光強度が一定の測定条件では、気孔コンダクタンスや光 合成関連酵素の量や活性も低下することが多いと考えられています。しかし、高CO2環境へのこれらの生理生化学 的順応は、光強度の突然上昇に対する光合成応答(光合成誘導反応)にどのような影響を与えるのかについては、答えが明瞭ではありません。光合成誘導反応過程は、3つの主要なプロセスがあり、それぞれのプロセスの所要時間や時間変動パターンが異なります(図3)。

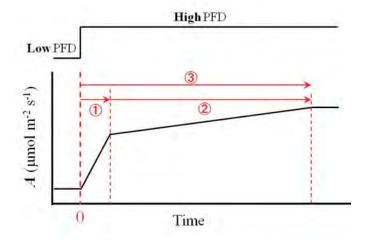


図3: 光合成誘導反応過程の模式図

誘導初期では、主にRuBP再生産速度によって律速されているが①、その後カルボキシレーション速度による制限が大きくなり、主な律速要因となる②。また、誘導過程全体を通じて気孔コンダクタンスによる影響を受ける③。

これらのプロセスが高CO2環境下でどのように変化するのかについては、現在十分に理解されていません。そこで、本研究では、とりわけ、気孔の開放と光合成関連酵素の活性化に注目し、この二つのプロセスが光合成誘導反応に与える影響を評価します。現在、私は国立環境研究所において唐艶鴻研究員とともに、気孔の影響を分離するため、光強度の変化に対する気孔応答が異なる2つの品種のポプラを利用して実験を行っています。一つの品種は、光強度の変化に対して気孔が普通に開閉できる(I55)が、もう一つの品種が光の変化に対して気孔の開閉が非常に小さい(Peace)という特徴があります。この二つのモデル植物品種を、異なるCO2環境下で生育させ、光合成誘導反応過程の気孔変化や関連酵素の変化を比較し、気孔開閉の影響評価をまず試してみたいと考えています。



国立環境研究所の中庭にて(2010年12月2日撮影)

### 関連集会報告

# Meeting report

ここでは、本領域に関連して行われたシンポジウムなどの学術集会の報告・宣伝を行います。今回は2010年9月に中部大学で開かれたモデルの勉強会、2010年7月に犬山市で開かれたNitrogen 2010、東北大学で行われました新学術領域研究集会、日本植物学会シンポジウムの報告を掲載します。

### 勉強会「植物の高CO<sub>2</sub>応答モデル: 個葉から生態系まで」

国立環境研究所 • 伊藤昭彦

2010年9月8日に、植物学会(会場:中部大学)にあ わせて新学術領域の勉強会が行われましたので、その報 告をいたします。

「何か面白そうな話をしているけれど、何がどう面白 いのか分からない」のは、フラストレーションが溜まる ものです。外国の劇場に行って、周りの観客が皆笑って いるのに、自分は一言も理解できない状況を想像してみ てください。この新学術領域では、分子生物から地球生 態系まで、様々な分野・スケールの研究者によるコン ソーシアム形成を目指していますが、ややもすると研究 集会は上のような状況になりかねません。これだけ学問 の細分化が進むと、生物学という枠の中でさえ用語や略 語は分野間で通用せず、さながらバベルの塔が崩れた後 のような有様です。恥ずかしながら私などは、他の方の 発表を聞いていても、遺伝子の名称が出てくると思考停 止してしまうこともしばしばです。そこで、参加メン バーの心に鬱積していた疑問を氷解させ、あふれる向学 心を満たすべく、勉強会を企画することになりました。 第1回のテーマは、コンソーシアムでしばしば出現する ものの(特に実験系の方々には)正体不明であった「モ デル」に焦点を当てることになりました。

勉強会の目標として、普段は端折りがちな基礎的な説明を、十分に時間をとってじっくりと話していただくことにしました。最初の講演は、寺島一郎さん(東京大学:領域代表)による、個葉モデル、特に光合成モデルとして広く使われているFarquharモデルに関するもので

した。寺島さんはポスドク時代、オーストラリア国立大 学のG.D. Fahguhar博士の下で研鑽を積んだこともあり、 プライベートなスナップ写真を交えつつ話していただき ました。Farquharモデルは非常にエレガントで実用性に 富むため、私も含め利用者は多数に登りますが、基礎と なる生化学的な化学量論を理解不十分のまま使っている ことを改めて思い知らされました。次の講演は、空間ス ケールを一段大きくし、彦坂幸毅さん(東北大学)に群 落スケールのモデルに関する話をしていただきました。 生態学者には言わずと知れた門司-佐伯の群落光合成モデ ルから(その前触れとなったBoysen-Jensenの研究にも 触れつつ) はじまり、近年のN.P.R. Anten博士や彦坂さ ん自身の発展モデルについて分かりやすく説明していた だきました。それでも、彦坂さんが研究を積み重ねられ てきた窒素利用に関する実験およびモデル解析や、順化 に関するモデル開発など、限られた時間の中で話し足り 無いことは多々あったのではないかと思われます。次の 講演は、さらに空間スケールを引き上げ、地球スケール にまで及ぶ生態系モデルについて筆者・伊藤昭彦(国立 環境研究所)が紹介しました。ここまでスケールが広が ると、なかなか他の植物学者と共通点を見出すのが難し いのですが、そこは見聞を広めていただくのも勉強会の 目的のうちと開き直ってみたわけです。こうした広域モ デルでも植物CO2応答が全体の結果を左右する重要性を 持っている、そのため予測不確実性の原因にもなりうる ことを示しました。最後の講演は、長谷川利拡さん(農 業環境技術研究所)による、応用的な側面として作物モ デルに関するものでした。長谷川さんは、前日まで土壌 肥料学会のため札幌に居られましたが、この勉強会のた めに連戦していただきました。今年からつくばみらい市 でイネのFACE実験が行われているように、変動する地球

環境下での食料生産に関する研究の必要性は極めて高いものがあります。長谷川さんの話では、作物モデルにおけるCO<sub>2</sub>応答の取り込みはまだ不十分ということでしたが、別な見方をすれば、私には今後の大いなる研究展開の可能性が感じられました。

今回は初回ということもあり、手探りの部分が多かっ たとはいえ、講演者の方々および聴衆の皆さんのおかげ でまずまず成功裏に終えることができたのではないかと 思います。それは中部大で会場などの差配をしていただ いた愛知真木子さん、参加登録などの事務をしていただ いた岩本由香里さんのご助力が欠かせませんでした。事 前登録していただいた参加者は61名を数え、懇親会も 40名以上の方と楽しい時間を過ごすことができました。 とはいえ、このように多数の参加者を得ることと、研究 室のゼミのような濃密な雰囲気を勉強会で両立させるこ とは容易でないとも感じられました(総合討論の時間も 余り気味でした)。大勢の前で「○○の意味は何です か?」といった基本的な質問をするのは難しいもので す。次回以降の勉強会のテーマは未定ですが、おそらく 例えば「オーミックス事始め」とか「CO<sub>2</sub>シグナル伝達 研究の最前線」といった(私から見たら)ミクロ系のも のになると予想しています。今回の教訓を活かし、より 充実した勉強会が出来るようにしたいものです。なお、 勉強会の資料は、必要に応じて改訂の後、ホームページ から登録者に閲覧可能とする予定です。皆様の引き続き のご参加とご意見をお待ちしています。



講演する寺島一郎領域代表

### Nitrogen 2010 (国際植物窒素同化 代謝会議) の報告

榊原 均(理研植物科学研究センター)

2010年7月26日から30日まで愛知県犬山市の国際観 光センター「フロイデ」でNitrogen 2010 (第1回国際 植物窒素同化代謝会議:組織委員長 山谷知行 東北大 教授)が開催されました。窒素関連の国際会議は、ヨー ロッパを中心にしたEuropean Nitrate Ammonium Assimilation Group (ENAAG)と、米国を中心にしたNitrate Assimilation: Molecular and Genetic Aspect (NAMGA)に よる国際会議がそれぞれ独立に行われてきました。しか し2007年に英国Lancasterで開催された両者の合同会議 (Nitrogen 2007)が成功したのを受け、今回から公式に1 つの国際会議として運営していくことになりました。昨 今の円高ドル安ユーロ安の影響で、海外からの参加者数 を心配しましたが、ふたを開けてみれば総参加者数163 名、海外参加者数87名、参加国数19カ国(日本を含 む) にのぼり、招待講演23題、Short Talk 24題、ポス ター発表94題からなる、大変活気のある会議となりまし た。猛暑のため館内の空調能力が追いつかず、うちわが 手放せませんでしたが、朝からポスターセッション終了 まで、連日熱い議論が展開されました。

研究発表初日はCHL1 (NRT1.1)の硝酸イオンセンサー 機能を同定したYi-Fang Tsay (Academia Sinica, Taiwan) のトークから始まり、続いてAlain Gojon (INRA, France) からNRT1.1のオーキシン輸送機能に関する発表があり ました。午後にはFrancisco Canovas (University of Malaga, Spain)が樹木バイオマス増産をターゲットにし た窒素同化制御研究を、次の日の午前にはAnne Krapp (INRA, Versailles)が硝酸イオンシグナル伝達系に関する 最新の知見を発表しました。3日目にはRodrigo Gutierrez (Pontificia Universidad Catolica de Chile, Chile) がインフォマティクスを駆使したシステムズバイオロ ジー研究と、それにより明らかになった窒素とオーキシ ンの相互制御システムについて発表しました。最終日に は生理生態学と窒素利用効率についてMalcom Hawkesford (Rothamsted Research, UK)らの発表があり ました。2007年のLancasterでの会議に比べ、参加者、 特に招待講演者の面々に若返りの印象を受けたことと、

窒素の取り込みや同化そのものよりも他の制御システム との相互作用に関する研究発表が増え、窒素研究も裾野 の広がりを見せ始めている印象を持ちました。

学術的な議論に加え、茶道体験をしてもらったり、ポスターセッション後、外国人参加者を連れて犬山市内の居酒屋に繰り出したり、エクスカーションで鵜飼いを楽しんだりと、日本文化にも接してもらうことができたと思います。犬山は決して大きな街ではないのですが、そのぶん運営上の小回りも利き、大都市ではできない会議が開催できたと思います。

本学術領域班からは柳澤修一さん(東大)、彦坂幸毅

さん(東北大)、寺島一郎領域代表(東大)、小俣達男さん(名大)、宮尾光恵さん(生物研)、山口淳二さん(北大)、榊原(理研)が口頭発表をしました。とくに彦坂さんと寺島代表の発表は窒素同化や代謝の本流からは少し違った生理生態学の視点からの窒素利用効率に関するスピーチでしたので会場の多くを占める分子生物学者には刺激になったものと思います。

次回の会議は2013年に南米のチリで行われることが 合意されました。もし、チャンスがありましたら是非ご 参加ください。



Nitrogen 2010の集合写真

### 新学術領域研究集会

"Toward understanding and modeling of canopy function and structure under global change"

彦坂幸毅(東北大学)

2010年9月2日に東北大学で標記集会が開催されました。本領域メンバーの伊藤昭彦さん、伊藤グループで研究されている飯尾淳弘さん、彦坂に加え、東北大博士課程学生の神山千穂さん、そしてオランダユトレヒト大学のNiels Anten博士を講演者とし、植物群落の機能と構造のモデル化をテーマとして活発な議論を行いました。

伊藤さんはこれまで用いられてきた生態系機能モデル の概略と、将来必要な改善点について紹介していただき ました。飯尾さんは、葉面積指数など群落の構造と物質循環にかかわるの先行研究のレビューをし、群落構造に関連する先行研究が意外に少ないことを紹介され、さらに現在進めているメタ解析の報告をしていただきました。彦坂は群落光合成機能と構造の生理生態レベルモデルのレビューを行い、改善点の可能性について議論しました。Antenさんは、群落構造のモデル化におけるゲーム理論の重要性について様々な研究例を紹介しました。神山さんは、湿原植物群集で行っている機能型別の受光量評価について研究紹介を行いました。

講演者の伊藤さん、飯尾さん、Antenさん、彦坂とで生態系モデルを深化させるべく共同研究を行うことになりました。この集会が共同研究の促進剤となり、さらに研究が発展すると良いと思っています。



集会の様子

### 日本植物学会第74回大会シンポジウム 植物群落の生産構造2010

彦坂幸毅(東北大学)

2010年9月9日に標記シンポジウムを開催しました。 植物群落の生産構造は古くから存在するテーマですが、 近年の地球環境問題に伴い、環境変化が自然・農業生態 系に及ぼす影響の理解の必要性が増していることもあ り、その重要性は未だ衰えていません。近年は、生産構 造のモデル化や種間差の理解など応用面での発展が著し い一方、分子生物学や進化生態学などの進歩を取り込 み、基礎面のさらなる発展も続いています。

本シンポジウムでは、寺島一郎領域代表と彦坂がオーガナイザーとなり、近年の発展について様々な領域で活躍する研究者に話題提供いただきました。最初に彦坂が

生産構造研究の背景説明をし、寺島代表が最適葉群構造にかかわる生理学的メカニズムについて研究紹介を行いました。石川県立大の小山耕平さんには葉群内の個葉光合成特性について精緻な測定を行った結果と数理モデルによる解析の紹介をいただきました。国環研の伊藤昭彦さんには群落光合成モデルを用いた物質循環のモデル化と解析を紹介いただきました。京都大学の長田典之さんには樹木の分枝構造に着目した光合成特性の調節についての研究を紹介していただきました。最後に、ユトレヒト大学のNiels Anten博士に植物群落構造をゲーム理論から解析した多くの研究を紹介いただきました。

生産構造の研究が現在もなお発展することが確認できたこと、また一方で、数多く存在する様々の理論の統合が行われていないことも明らかになってきました。このシンポジウムが、この分野のさらなる発展の一助となればうれしいと考えています。



講演するNiels Anten博士

### 新学術領域総括班からの報告

# Information

新学術領域「植物の高CO2応答」第1回若手ワーク ショップオーガナイザー側からの報告

木羽隆敏(理化学研究所・榊原班)

2010年12月16~18日(2泊3日)の日程で、日本 三大温泉場の一つである伊東温泉にて、榊原班が企画 を担当し、第1回若手ワークショップを開催いたしま した。北は北海道から南は九州まで、全国から学生と 若手研究者を中心とした約60名にご参加いただきまし た。初回ですので、学生及び若手研究者が互いの研究 について知り交流を深めることに主眼を置き、旅館は 貸し切り、宿泊は3~6人の相部屋、学生及び若手研究 者全員が自身の研究内容について口頭発表するという 形式で行いました。

ワークショップは12月16日午後2時から始まり、全 41題の研究発表が行われました。本新学術領域は分野 の異なる研究者が集まっていることが大きな特色であ り、生態学から分子生物学まで幅広い発表がありまし た。発表8分・質疑2分の限られた時間の中でしたが、 他の分野の研究者にもわかりやすいように工夫された 発表が多く、質疑も活発に行われました。議論は質疑 の時にとどまらず、発表の合間の休憩時間や夕食宴 会・2次会会場においても盛んに行われ、2次会会場は 連日午前3時過ぎまで賑わっていました。「研究につ いて知り交流を深める」という本ワークショップの目 的は十分に果たされたと思います。

本ワークショップでは若手の研究発表に加え、「温 故知新」をテーマに東北大学名誉教授の前忠彦先生、 京都大学名誉教授(現近畿大学先端技術総合研究所客 員教授) の泉井桂先生、元東京大学助教授(現農林 業)の林浩昭先生による講演を企画いたしました。前 先生には「若い頃の迷い道」、泉井先生には「昔語り そして現在から未来へ」、林先生には「若手研究者に とって農林業生産現場には魅力があるか」というタイ トルで、若い頃の研究や現在の興味・仕事などについ ての話を通して、若手研究者に対する助言や応援メッ セージをいただきました。

最後になりますが、本ワークショップ開催にあたり 事務全般を取りまとめていただきました岩本由香里様 (寺島班)、本会の運営にご協力いただきました寺島 先生及び寺島研の皆様、遠路はるばるお越しいただき ました講演者の方々に心から御礼申し上げます。2011 年度の若手ワークショップで、皆様と再会できること を楽しみにしております。



以下は、実際に参加した若手からの報告を掲載いたします。

#### 山本 禎子(九大・院・システム生命)

ワークショップへの参加は初めてだったため、初日は かなり緊張していましたし、どの方がどのような研究を されているのかも分からずに戸惑っていました。しか し、発表後には年代を問わずいろいろな方が気軽にディ スカッションしてくださり、十分に交流を楽しむことが できました。また、それに加え、自分自身に足りていな いものを突きつけられたように思います。もともと勉強 不足であることは自覚していましたが、自分の研究に関 わる最低限の知識以外は必要ないものと、あまり気には していませんでした。しかしながら、自分の研究を多角 的に見つめるということだけではなく、研究を行ってい く上で必要なコミュニケーションをとるという点から も、幅広い分野への興味や関心、知識が必要だというこ とを身にしみて感じました。それに関連し、振り返って 思うこととして、自分の消極さが挙げられます。今回は 周りの方の気遣いによって交流を楽しむことができまし たが、知識量の少なさや自信のなさから、自分から積極 的に話しかける、という点において不十分だったように 思います。今後は、この経験を活かし、コミュニケー ションを通じて、よりよい研究ができるようになればと 思います。

#### 前川修吾(北大・院・生命)

12月に開かれた伊東での若手ワークショップに参加しました。当研究室からは私と後輩の二人が参加しました。全体の参加者は60名程で、旅館を貸し切っての二泊三日の日程ということで、とても親密で和やかな会でした。私の発表は、C/Nバランスを制御するユビキチンリガーゼに関するものでしたが、本会ではたくさんの質問をいただき、発表に際して初めて「ホーム」な感じを受けました。発表会全体も質疑応答の時間をしっかり取ってくださっていて、どの発表でも活発に議論していたのがとても印象的でした。これから高CO2に関する実験をこれから進めていくにあたって、どういったところに気をつけたらよいかや、どういった指標を使えばよいかなど、貴重な情報を得る場にできました。

また、今回、来賓講演として3名の先生から、これまで の研究者生活についてや、将来への心構えなどを聴かせ ていただきました。中でも若手研究者へ向けての言葉は、今の自分に足りないものを正に指摘するもので、身に染みると同時に、精進せねばと気持ちを新たにすることになりました。このような素敵な会を開いていただき、ありがとうございました。また来年も開かれることを期待します。

#### 小松雅史 (森林総研)

今回このようなワークショップに参加することが初めてであったこと、また参加者に知っている人がほとんど居なかったことから、参加前は非常に緊張していました. さらに切符がうまくとれなくて東京で特急に乗ることが出来ず、お上りさんのような気持ちで会に臨みました. しかし、参加後の率直な感想として、この会に参加することで非常に有意義な経験が出来たと思っています.

植物生理学とひとくくりにはできないほどの多様な研究内容に関する発表があり、そのほとんどが初めて聞く内容でした.しかし、みなさんしっかりとイントロを作成して来られたので、知識がない分野の研究でも比較的容易に理解することができました.また、学生の参加者がしっかりとしたプレゼンテーションを行い、質問にも堂々と答えていたのには、驚くばかりでした.

興味深かったことは、光合成反応の律速となりうる反応を組換えによってコントロールしても、結果としての光合成速度は変化がなかったり、逆に低下するという発表がいくつかあったことです。このようなことは個体レベルや林分レベルでも環境変化に対して同様に認められる現象であり、光合成の反応系でも起きていることを包括的に考える必要があることを認識しました。

残念であったことは、私自身の問題として、あまりに 多くの新しい情報が入ってきたこと、また遺伝工学に関 する基礎的な知識が足りないことから、発表の途中で思 考が止まってしまうことが何度かありました。ですが、 こうした反省も今回のワークショップに参加したからこ そ感じることができたものであると考えています。各班 の研究内容をより理解するためにも幅広い知識を身につ けておこうと思いました。 食事や休憩時間,寝る前などすべての時間が交流する機会でした.あまり多くの方と話すことは出来なかったのですが,興味深い話をしていただきました.シロイヌナズナの目的の変異株を得るために一時期膨大な量の個体をスクリーニングし続けた,という方の,単純作業の中でも材料を観察していると気付かされることがある,という話が印象に残っています.分野は離れているけれども,植物の現象を追うということでは同じであることを実感しました.

また、夜に寺島先生の研究室の方たちに釣りに連れて 行っていただいたのは楽しい思い出です。おかげで一匹 釣ることも出来ました。

次回どのような形式で行われるのかわかりませんが, 自己紹介が一段落ついたので,次はグループワークなど をするのでしょうか.とはいえ,夜の飲み会がすでにグ ループワークに相当していた気もしますが...

### 石川智恵(神戸大・院・農)

新学術若手ワークショップでは、高CO2という大きな テーマのもと、生理学から生態学まで、非常に幅広い分 野における研究についての発表を聞くことができまし た. 日ごろはつい自分の研究テーマに限った勉強になっ てしまうことが多かったのですが、前先生がおっしゃら れていたように、広い分野における知識を追求すること の大切さを再度教えられ、今後の学習態度に対する良い 刺激となりました、私自身にとっては、今回が学外での 初めての口頭発表の場となりました。 さらに私が研究対 象としている分野についての発表も多く、論文で名前を よく拝見している先生方も多く出席されており、そのよ うな場での発表ということで、終始緊張を拭えない発表 となりました. しかし, 質疑応答の際に頂いた数々の質 問およびコメントは, 今後の実験の参考になるととも に、自分の研究について改めて考えるきっかけとなり、 これからの研究意欲を高めることができたと思います.

また、2泊3日という期間を共に過ごすことにより、全国各地の学生や研究者の方々と交流することができました。他大学の学生生活や、先輩研究者の研究生活の話からはいろいろと学ぶこともあり、それとともに、日本各地の旅行話を聞いているようでもあり、とても貴重で楽しい時間を過ごすことができました。最後になりましたが、このような会議を企画、運営していただいた皆様に深く感謝申し上げます。







### 領域からの案内

#### 第4回班会議

日時:2011年2月11日(金)13時から12日(土)16時まで(予定)

場所:東京大学本郷キャンパス 理学部2号館4階大講堂

### 記事募集

ニュースレターは年2回の発行となります。計画研究や、公募研究の内容紹介、そして領域の大きな目標の一つである若手研究者育成のため、若手の自己紹介を積極的に行っていく予定です。さらに、研究成果の紹介も行いたいと思います。記事の寄稿をお願いいたします。

掲載を希望される方は編集委員会の彦坂幸毅または愛知真木子までお気軽にご連絡ください。掲載希望がない 場合は、編集委員会が人選し、記事執筆を依頼します。その際には是非ともお引き受けくださいますよう、よろ しくお願いいたします。

### 植物高CO2応答ニュースレター 3号

2011年1月発行

発行人 寺島 一郎

編集委員会 野口 航・種子田 春彦・愛知 真木子・楠見健介・彦坂 幸毅(編集長) 表紙 安立美奈子

連絡先 彦坂 幸毅 hikosaka@mail.tains.tohoku.ac.jp

愛知 真木子 makiko@isc.chubu.ac.jp