

## 47-1 大気CO<sub>2</sub>増加が農業生態系に及ぼす影響のFACE実験による解明と予測

独立行政法人農業環境技術研究所 長谷川利拓 (thase@niaes.affrc.go.jp)

### 1. 研究の目的

大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇、温暖化といった地球規模の環境変動は、世界各地の食料生産に大きな影響を及ぼす。このため、今後50年間を見通して、予想される温暖化とCO<sub>2</sub>濃度上昇に対する農業生態系の応答を的確に予測し、環境変動に適応した農業技術を開発することが強く望まれる。

本研究は、開放系大気CO<sub>2</sub>増加(FACE)実験および温度勾配チャンバー(TGC)実験を行い、大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇が、作物の成長・収量、病虫害の発生動態、土壌-植物の炭素・窒素代謝に及ぼす影響、それらと温度との相互作用を実験的に解明することを第1の目的とする。さらに、温暖化とCO<sub>2</sub>増加が農業生態系と農作物の成長に及ぼす影響を予測するプロセスモデルを開発し、地球環境変動に適応した農業技術開発の方向性を明らかにしようとする。

### 2. 研究の方法

農家水田の大気CO<sub>2</sub>濃度を高めるFACE実験と、CO<sub>2</sub>濃度と気温を同時に高めることができる大型TGC実験をそれぞれ岩手県雫石町、盛岡市東北農業研究センターにて実施し、(1)乾物生産の高CO<sub>2</sub>応答が品種間でどのように異なるか(FACE実験)、(2)イネの低温障害不稔が高CO<sub>2</sub>によってどのように影響されるか(TGC実験の冷水処理、FACE実験の不稔の自然発生状況)、(3)イネいもち病、紋枯病の発生率が高CO<sub>2</sub>によって高まるか(FACE実験における菌接種)、(4)ダイズわい化病の媒介者として重要なジャガイモヒゲナガアブラムシの有翅胎生虫の生活史形質が、異なるCO<sub>2</sub>濃度で生育したダイズ葉の給餌によってどのように影響されるか(TGC)を調査した。なお、実験で設定した高CO<sub>2</sub>濃度条件はいずれも外気+200ppmvである。

土壌-植物系における炭素・窒素代謝を表す生物地球化学モデルDNDC (<http://www.dnnc.sr.unh.edu/>)を高CO<sub>2</sub>条件下の水田土壌に適用するために、雫石FACE実験水田における土壌理化学特性と酸化還元電位の変化を計測した。酸化還元電位の変化を鉄の還元過程に基づきモデル化してDNDCに導入し、改良モデルの妥当性をFACE実験水田の観測データによって検証した。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 温暖化と大気CO<sub>2</sub>増加が農作物と病虫害に及ぼ

#### す影響の解明

##### (1) 水稲品種の乾物生産応答

高CO<sub>2</sub>の乾物生産への効果は品種により大きく異なるとともに、生育ステージによっても異なった。高CO<sub>2</sub>の乾物増加への効果は、主として光合成速度の促進による光利用効率の増加に依存すること、光利用効率の増加程度は7~13%であることがわかった。さらに、登熟歩合と千粒重に高CO<sub>2</sub>と低温との相互作用がみられ、冷害時には高CO<sub>2</sub>による収量増加を制限した。

##### (2) 温度ストレスによるイネの不稔

過去3年間に冷水処理したイネの穎花稔実歩合に及ぼす高CO<sub>2</sub>の影響を解析したところ、高CO<sub>2</sub>はもみ数の増加を通して間接的に低温障害不稔を助長することがわかった。これまでのFACE実験結果から、高CO<sub>2</sub>による収量増は、主としてもみ数の増加に依存することがわかっているが、その効果は冷害時に大幅に低下するものと予想される。FACE実験では、早生品種のきらら397が冷害危険期である穂孕み期頃に低温に遭遇し、顕著な障害不稔が発生した。総もみ数が対照区よりも多かった高CO<sub>2</sub>区では、不稔歩合も有意に大きく(図1)。

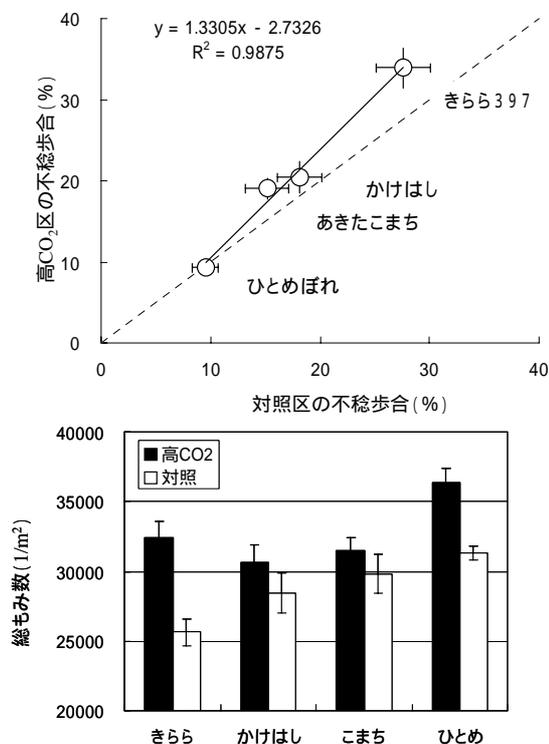


図1. 2003年のFACE実験における水稲4品種の穎花不稔歩合(上)とm<sup>2</sup>当たりのもみ数(下)。

これまでTGCにおける冷水処理で得た結果と同様の結果が、圃場条件でも観察できた。

### (3) イネいもち病および紋枯病の発生

FACE実験圃場におけるいもち病菌、紋枯病菌の接種試験の結果、高CO<sub>2</sub>条件では対照区と比較して、イネいもち病および紋枯病が多発しやすい傾向にあることを確認した。高CO<sub>2</sub>区でいもち病の発病程度が高まった機構として、高CO<sub>2</sub>によってイネ葉身の珪素含量が減少し、表皮のクチクラ・ケイ酸重層が薄くなり、いもち病菌の侵入頻度が高まることが考えられた。一方、紋枯病については、発病株から周辺株への伝染が高CO<sub>2</sub>によって早められたことが、発生助長の要因であった。

### (4) ジャガイモヒゲナガアブラムシ有翅胎生虫の生活史形質

高CO<sub>2</sub>条件で生育した葉を給餌することによって、ジャガイモヒゲナガアブラムシの有翅胎生虫の1世代期間は長くなるが、総産仔数が変わらないため内的自然増加率(天敵影響がない条件での単位時間当たり増殖速度)はむしろ減少した。したがって、ダイズわい化病の感染率が高CO<sub>2</sub>で著しく高まることはなさそうである。

## 3.2 温暖化と大気CO<sub>2</sub>増加が農業生態系に及ぼす影響のプロセスモデリング

### (1) 水田土壌理化学性

FACE実験水田における土壌理化学性を調査したところ、大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇は土壌中CO<sub>2</sub>を増加させ、CaとMgの溶脱を促進するが、湛水後の土壌還元の進行には大きな影響を持たないことがわかった。土壌が湛水されると、鉄、マンガンなどが還元され始め、最終段階ではCO<sub>2</sub>が還元されてメタンが生成される。したがって、湛水土壌における炭素代謝を的確にシミュレートするためには、土壌中の酸化還元電位を的確に捉えることが重要になる。とりわけFeは電子の供与 受容関係で重要な役割を果たすため、その還元程度の正確な記述が必要である。そこで文献調査に基づき、湛水に伴う土壌中Fe<sup>2+</sup>濃度の増加速度を関数として表し、Fe<sup>3+</sup>とFe<sup>2+</sup>のバランスから土壌の酸化還元電位を推定する関数を導き、DNDCモデルに導入した。本モデルは、FACE実験水田の酸化還元電位およびFe<sup>2+</sup>濃度を概ね正しく再現した。

### (2) 植物 土壌プロセス統合モデルの検証

土壌プロセスモデルとMACROS ([http://eco.wiz.uni-kassel.de/model\\_db/mdb/macros.html](http://eco.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/macros.html))を基礎とするイネ成長モデルを統合して、FACE実験の観測値への適合度を検証した。その結果、植物成長と土壌過程を改良した統合モデルは、イネのバイオマス、メタン放出の年次、季節変動を概ね再現したが、高CO<sub>2</sub>が葉面積に及ぼす

影響を過大評価、メタンフラックスに及ぼす影響を過小評価する点など、改良を要する部分が明らかになった。

## 4 今後の課題

高CO<sub>2</sub>による低温障害の悪化およびいもち病、紋枯病発生助長の助長は、いずれも高CO<sub>2</sub>による光合成・乾物生産の増加を打ち消す効果を持つことから、今後のリスク評価では重要な意味を持つ。これらのメカニズムの全貌解明にはさらなる研究が必要であるが、高CO<sub>2</sub>に伴う稔実の低温感受性の増加には総み数の増加、いもち病の発生助長にはイネ葉身の珪素含有率の減少など、高CO<sub>2</sub>による間接的な影響が反映した可能性が高い。また、イネの生育に及ぼす高CO<sub>2</sub>の影響が品種間で異なることも明らかになってきた。したがって、高CO<sub>2</sub>に対する生育応答の品種間差異は、作物の潜在生産性のみからではなく、冷害や病害に対する抵抗性という面からも総合的に評価することが重要である。

湛水後の土壌還元過程を取り入れた植物 土壌プロセス統合モデルは、土壌酸化還元電位、イネのバイオマス、土壌からのメタン放出の年次、季節変動を概ね再現したが、高CO<sub>2</sub>がメタンフラックス、イネ葉面積に及ぼす影響については改良が必要である。今後、FACE、TGC 実験結果に基づきモデルを改良し、高CO<sub>2</sub>環境下におけるイネの成長、耕地生態系の炭素代謝の予測精度の向上を図る。

## 5 成果文献

- Anten, N.P.R. et al, 2003: Elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen availability have interactive effects on canopy carbon gain in rice, *New Phytol.*, 161, 459-471.
- Inubushi, K. et al, 2003: Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on CH<sub>4</sub> emission from a rice paddy field, *Global Change Biol.*, 9, 1458-1464.
- Kim, H.Y. et al, 2003: Seasonal changes in the effects of elevated CO<sub>2</sub> on rice at three levels of nitrogen supply: a free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) experiment, *Global Change Biol.*, 9, 826-837.
- Kim, H.Y. et al, 2003: Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen supply on the yield of temperate paddy rice crops, *Field Crops Res.*, 83, 261-270.
- 小林和彦ら, 2004: 土壌生態圏の未来: 人間活動が大気と土壌生態系に及ぼす影響, *化学と生物*, 42 (8), 530-536.
- Yamakawa, Y. et al, 2004: Nutrient uptake by rice and soil solution composition under atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment, *Plant Soil*, 259, 367-372.