

「環境低負荷型の社会システム」

平成 7 年度採択研究代表者

小林 和彦

(農業環境技術研究所 室長)

「CO₂ 倍増時の生態系の FACE 実験とモデリング」

1. 研究実施の概要

大気中の CO₂ 濃度は今後も上昇を続け、21 世紀半ば頃には現在よりも 150-200ppm 程度高くなると想定される。本プロジェクトでは、この CO₂ 濃度上昇が、イネの生長・収量と水田生態系にどう影響するかを、FACE (開放系大気 CO₂ 増加) 実験によって明らかにしようとする。1997 年度までに、岩手県雫石町の農家水田に FACE 実験施設を建設し、1998 年に最初の FACE 実験を行った。開発した FACE 装置は、独自のデザインにより世界で唯一、100%CO₂ を空中に直接スプレーするもので、性能解析の結果、FACE 装置として実用可能であることが確められた。この装置を使った 1998 年の実験では、約 200 ppm の大気 CO₂ 増加によりコメ収量が約 15% 増加し、イネの生長における炭素や窒素の分配、葉や茎の養分状態、形態形成、コメの品質等が変化した。さらに CO₂ の増加により、イモチ病の発生や土壌微生物量が変化することも示された。1999、2000 年と実験を繰り返して、こうした CO₂ の影響が安定したものか、毎年の気候等の違いによって変動するかを調べるとともに、品種の違いや肥料の量が CO₂ の効果を変動させるかどうかを調べる。

2. 研究実施内容

FACE 実験では、CO₂ 濃度が所要の精度で目標とする値に制御されていることが前提になる。特に本プロジェクトでは、従来に無い新しい FACE 方式を用いたので、装置の開発と性能評価は、今年度までの最重要課題であった。

(1) FACE システムの開発

既存の FACE では、植物群落のまわりの CO₂ 濃度を高めるために、CO₂ をブロウ - によってダクト内に取り込んで空気と混合した後、放出パイプから空気中に吹き出す。この方式では、多量の空気を吹き込むために植物群落の熱収支が変わり、植物の生長も変化する。これをブロウ - 効果と呼ぶが、FACE 本来の目的 (植物の生育環境を変えないで CO₂ だけを増加させる) を果たすことができない。そこで本プロジェクトでは、群落微気象にほとんど影響しない、純 CO₂ 放出型の FACE 装置を開発した。この方式は従来型と比べて、ほ場へのガス放出量が 1/100 程度のため、

送風の影響は事実上無視できる。また、送風機が無いので、野外への FACE 設置に必要な労力、電力、スペースが激減する。

開発した純 CO₂放出型の FACE 装置は、差し渡し 12m の 8 角形で、以下 FACE



図— 1 開発した純 CO₂放出型 FACE リングの外観

リングと呼ぶ（図-1）。リングの各辺は市販のかん水チューブでできており、チューブ上に多数ある細孔から CO₂ が高速で吹き出され、周囲の空気と急速に混合される。風があるときは風上側の 3 辺から、無風時は 1 つおきの 4 辺から交互に、CO₂ を放出する。CO₂ 放出量を調節して、リング中心の CO₂ 濃度を目標値（=外気 + 200 ppm）に自動制御する。1998 年度の CO₂ 濃度制御状況は以下のとおりであった。

FACE リングは 4 つ（A-D）設置したが、各リング中央における CO₂ 濃度の増加は、実験期間中全体を平均すると、目標値の 200 ppmV に対して、198 (A)、227 (B)、213 (C)、257 (D) ppmV と、おおむね満足できる結果であった。一方 CO₂ 濃度の時間的変動を調べると、制御パラメータの設定に誤りがあった D リングを除いて、1 分間平均 CO₂ 濃度は 85-90% の確率で目標値（外気 CO₂ + 200 ppmV）の 20% 以内であった。これは、1996 年にアメリカ デューク大学で開かれた FACE ワークショップで提案された、FACE における CO₂ 濃度制御の基準を満たしていた。

ところが、リング内の CO₂ 濃度の空間的変動を調べると、合計 48 地点のうち 37 地点で CO₂ 濃度の目標値から 10% 以上ずれてしまい、先の FACE ワークショップで示された基準を満たすことができなかった。ただし、実験期間の最後の約 3 週間、PID ロジックを導入して制御したところ、地点間の変動が激減し 48 地点中 45 点で 10% 以内を実現した。制御ロジックの改良により、次年度以降の実験ではこれ以上の性能が期待できる。

(2) イネの生長と収量への影響

以上のような CO₂ 濃度の上昇により、イネの生長量と収量は全般に増加した。例えば出穂期における植物体の乾物重は、FACE/対照区比で、穂が 33%、葉鞘と稈が 24%、根は 13%それぞれ増加したが、葉身はほとんど増加しなかった (+6%)。葉面積は当初やや増加したが、出穂期及びそれ以降は差が無くなった。収穫期には、FACE による生長量の増加は小さくなり、穂や葉鞘 + 稈の重さは約 10%の増加に止まった。一方モミ収量は、対照区の 5.9 t/ha に対し、FACE 区のモミ収量は 6.9 t/ha と約 15%の収量増加となった。もみ収量の増加はモミ数の増加 (+15%) とほとんど同等であり、それには穂数の増加 (+12%) が最大の要因であった。玄米収量は、モミ収量とほとんど同じ変化を示した。こうした重量の変化は植物体の形態的变化を伴い、FACE により茎数は 10-12%、根数は 16%増加した。葉面積や葉身重の増加が茎数の増加に及ばないことから、葉の数や大きさの減少が示唆された。稈は FACE で太くなっており、それに伴って挫折抵抗も増加した。

こうしたイネの生長量の変化は、生長プロセスの変化の結果である。出穂期の個葉光合成・蒸散測定の結果、FACE により光合成が促進され、蒸散は抑制されることが確かめられた。また FACE 区と対照区とで、個葉の光合成速度を同じ CO₂ 濃度で測定すると、FACE 区の方が光合成が低下する、光合成のダウンレギュレーションが観察された。

変化は、植物体中の各種養分の含有率にも表れた。例えば、窒素、カリウム、ケイ素の含有率は高 CO₂ 濃度で 10%前後低下し、一方リンの含有率はやや増加した。

(3) 水田生態系への影響

微気象学的測定によって、イネ群落の熱収支に及ぼす FACE の影響を調べたところ、昼間は葉温が FACE で約 1 °C 高いが、夜間の差は 0.5 °C 以下であった。また、蒸発散量は FACE で約 10%少なかった。

FACE 内の土壌微生物中の炭素量は増加傾向にあったが、窒素量には変化が無かった。土壌の酸化還元電位は FACE 区でより低い傾向があり、メタン生成量増加の可能性が考えられたが、チャンバー法で測ったメタン放出量に及ぼす FACE の影響はイネの生育時期によって異なった。

FACE 実験ほ場でイモチ病の胞子を人工接種したところ、FACE によりイネがイモチにかかりやすくなっている傾向が見られた。また出穂後にはほ場で自然発生した穂イモチの発病を調べたところ、FACE 区で明らかに発病程度が高かった。こうしたイモチ罹病性上昇の原因の一つとして、葉のケイ酸含量の低下が考えられた。

(4) 影響のモデリングとデータ解析

IGBP/GCTE Rice ネットワークの活動の一環として、世界の主なイネ生長モデル 6 種類の比較解析を行った。その結果、どのモデルも真にグローバルなモデルでな

いことが明らかになった。今後は、ローカルなモデルをグローバルな予測に用いる手法の開発が、重要な研究課題となる。現在、1998 年の FACE イネの生長と収量を、それら主要モデルでシミュレートしつつある。

3 . 主な研究成果の発表（論文発表）

- 小林和彦、モイン・ウス・サラム

増えゆく大気 CO₂ とアジアのコメ

農業および園芸 73 巻 8 号 857-863 頁 （1998）

- Kobayashi, K., M. Okada, and H.Y. Kim

The Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) for rice in Japan

Proceedings of the International Symposium: World Food Security and Crop Production Technologies for Tomorrow (Kyoto, Japan)

p. 213-215 (1999)

- Salam, M., Kobayashi, K., Kim, H-Y., and M. Okada

Phasic development of rice seedlings under elevated CO₂ and temperature regimes

Proceedings of the International Symposium: World Food Security and Crop Production Technologies for Tomorrow (Kyoto, Japan)

p. 207-211 (1999)