

「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倍增時の生態系の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初めて、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・1999年の実験では、約200 ppmの大気CO₂増加によりコメ収量が約13-15%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。このようなイネの生長やコメ収量の変化は、窒素肥料の量によって変化し、肥料が少ないとCO₂の影響が小さいことが明らかになった。さらにCO₂の増加により、イモチ病の発生や土壌微生物量、水田からのメタンの発生が変化することも示された。2000年も実験を繰り返して、こうしたCO₂の影響が毎年の気候等の違いによってどう変動するか調べるとともに、品種の違いや肥料の量によるCO₂の効果の変動を調べる。

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、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が本来目的とする、植物の生育環境を変えないでCO₂だけを増加させることができない。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FACE装置は差し渡し12mの8角形で、FACEリングと呼ぶ。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。1999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、203-208 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、30秒間平均CO₂濃度は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。

一方リング内のCO₂濃度の空間的変動を調べると、全体の面積の60%が目標値から15%以内のCO₂濃度にあった。なお、CO₂放出チューブの設置位置を高くすると、空間分布がより一様になることが分かったので、次年度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2週間前には、FACE区は対照区に比べて、全乾物重で43%、葉面積で33%それぞれ増加していたが、収穫期には、FACEによる生長量の増加は小さくなり、全乾物重は約16%の増加、葉面積は5%の減少となった。このように、生長促進をうち消すように働く要因の影響が想定される。一方モミ収量は、対照区の8.7 t/haに対し、FACE区のモミ収量は9.8 t/haと約13%の収量増加となった。収量自体は、1998年よりも20-30%多かったが、CO₂増加の影響はほぼ同程度(1998年は16%増加)であった。モミ収量の増加はモミ数の増加(+7%)が主な原因であったが、モミ重の増加(4%)も少し寄与していた。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により穂数が9%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。

(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で最大約1℃高いが、夜間はほとんど差が無かった。蒸発散量のFACEと対照区との差は、ごくわずかであった。

水田の水表面での水層と大気とのCO₂交換を測定したところ、FACE区では昼間CO₂は水に吸収され、夜間は水から放出されるという日変化であったが、対照区ではCO₂は常に水から大気に向けて放出されていた。FACE区で藻類やウキクサ類の現存量が多いためと推定された。

FACE内の土壌微生物中の炭素量は土壌表層、下層とも増加傾向にあったが、同窒素量は土壌表層のみでFACEの方が多かった。土壌の酸化還元電位には差が見られなかった。チャンバー法で測ったメタン放出量は、出穂期のメタン発生量のピーク時にFACE区で明らかな増加が見られ、生育全期間を通して約15%多かった。FACE実験ほ場でのイモチ病の接種実験を行ったが、高温に経過した気候の影響で、イモチ病の発生自体が少なく、CO₂の影響も認められなかった。また、葉のケイ酸含量の低下は見られなかった。ただし、高温のために紋枯れ病が発生したが、FACE区で明らかに多かった。原因は不明である。

(4) 影響のモデリングとデータ解析

世界の主なイネ生長モデルのうち、ORYZA-1、SIMRIW、TRYM、RICAMを用いて、1998年のFACEイネの生長と収量をシミュレートした。まず、雫石での対照区のイネの生長をシミュレートするためには、どのモデルもパラメータのチューニングが必要であった。対照区の生長を概ね良くシミュレートできるようになった後に、FACE区の生長をシミュレートした。変えたのはCO₂濃度のみである。するとモデルによって結果が分かれた。葉の生長を乾物生産と切り離しているSIMRIWやTRYMが、FACE区の生長を比較的良くシミュレートできたのに対して、葉への炭水化物分配を考慮するORYZA1は、葉面積の生長を過大推定し、その結果乾物生長も過大推定する結果となった。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

Toda, H., Tanaka, S., Koizumi, H., Kobayashi, K., Okada, M., Kim, H.Y., and H. Kawashima. Effects of CO₂ enrichment on the nitrogen utilization by rice under field conditions: a result from Free-Air CO₂ Enrichment with rice. システム農学 16, 74-78, 2000.

Kobayashi, K., and Salam, M.U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation. *Agronomy Journal*, 92, 345-352, 2000

犬伏和之 土壌環境について - 炭素循環とガス代謝を中心として. CELSS学会誌 12 (1), 39-47, 1999