

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 赤外線ではかる

July 1993 ■ No.7

陸上生態系における
大気温暖化ガスの動態を測る

Measurements of the Atmospheric
Greenhouse Gases Dynamics in Land
Ecosystems

原菌芳信・宮田 明・三笠 元

Yoshinobu HARAZONO, Akira MIYATA, Hajime MIKASA

(Pages13-22)

株式会社 堀場製作所

陸上生態系における大気温暖化ガスの動態を測る

Measurements of the Atmospheric Greenhouse Gases Dynamics in Land Ecosystems

原 菌 芳信*・宮 田 明*・三 笠 元

Yoshinobu Harazono, Akira Miyata, Hajime Mikasa

【要旨】

大気中の温暖化ガスの濃度上昇が問題になっている。陸上生態系は、水田や湿地でのメタン発生、農耕地における亜酸化窒素の放出など、大気温暖化ガスに深く関与しており、その動態把握は重要である。本論文では、水稻群落上のメタン濃度の日変化を二酸化炭素濃度と比較しつつ明らかにし、フラックスを評価した。また、人為的な発生源を含む広域的な陸上生態系におけるメタンフラックスを評価し、早春に水田と同レベルのフラックスがあることを示した。さらに、低濃度メタン測定用の非分散形赤外線分析計を開発し、これにより草地においてメタンの吸収フラックスがあることを明らかにした。

Abstract

Recently, the increasing concentration of atmospheric greenhouse gases has become a problem. Land ecosystems are contributing considerably to atmospheric greenhouse gases through the generation of methane gas in paddy fields and swamps, and the emission of nitrous oxide in arable land, and it is now important to understand the dynamics of land ecosystems. This paper clarifies the daily changes of methane concentrations in wetland ecologies while comparing the concentration of carbon dioxide, and evaluates flux. This paper also evaluates methane flux in wide-area land ecosystems including artificial sources of generation, and shows that there is the same level of flux in early spring as that of paddy fields. Furthermore, this clarifies the fact that there is absorption flux of methane in grasslands.

1. はじめに

温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)などの大気濃度は年々増加しており、地球規模の気候変動との関連で、吸収源(sink)や発生源(source)の特定とその強度の把握が重要になっている^{1, 2)}。CH₄やN₂Oの赤外放射吸収能はCO₂の約30~100倍大きい³⁾ため、その大気濃度が低いにもかかわらず、大気温暖化への影響が大きい³⁾。これらの発生源には、工鉱業生産活動に伴う人為的起源のものと、地球の生態系(Earth Ecosystem)自体の営みの過程で放出される天然起源のものがある。

* 農業環境技術研究所

河川や湖沼を含む陸上生態系では、光合成による植物へのCO₂固定と、植物や土壌微生物によるCO₂放出とがあり、各種生態系毎の収支の正確な把握が求められている。また、CH₄は嫌気状態の土壌微生物により有機物が分解される過程で発生し、畑地や草地などでは好気性土壌微生物により分解され、N₂Oは窒素化合物が土壌微生物により無機化される過程で生じる。陸上生態系ではsinkとsourceとが混在するため、多様な生態系毎に地域の変化や季節的変動があり、これらの定量的な実態解明が強く要請されている⁴⁾。

筆者らは、陸上生態系における大気温暖化ガスの動態を観測しており、最終的には地球規模での濃度変化に対する農耕地や林地などの寄与を評価することを目標としている。以下、陸上生態系におけるCH₄濃度の実態とフラックスに関する結果を示し、現在進めつつある非分散形赤外線分析計(NDIR)を用いたCH₄フラックス測定について示す。

2. 観測装置及び観測方法

2.1 フラックスの微気象学的な測定方法

自然生態系で観測されるフラックスは、植物群落や裸地面などと大気との間で交換されるガス(CO₂, CH₄, N₂O, O₃など)や水蒸気などの単位時間単位土地面積当りの鉛直方向の輸送量である。輸送の向きにより放出または吸収となる。測定方法としては、50 l ~ 1 m³のチャンバを対象群落にかぶせて内部ガス濃度の時間変化率から求める小スケールのチャンバ法⁵⁾と、植物群落上での濃度勾配からその気層での乱流拡散輸送量を求める微気象学的方法とがある^{6, 7, 8)}。

微気象学的方法は、植物群落上の2高度z₁, z₂のガス濃度S₁, S₂と、ガスの鉛直輸送に関する乱流拡散速度Dを求め、両者の積として(1)式からフラックスFを求めるもので、ある程度の空間で、より自然状態の代表値が得られる特徴がある。

$$F = -D(S_2 - S_1) \quad \dots\dots(1)$$

Dは2高度の風速u₁, u₂の測定から空気力学的方法(2)式で、また純放射量Rn、地中伝熱量G、2高度の気温θ₁, θ₂と比湿q₁, q₂の測定から熱収支法(3)式により求めることができる。なお、κはKarman定数、dは地面修正量、C_p, ρは空気の定圧比熱と密度、ℓは水の気化潜熱である。

$$D = \frac{\kappa^2 (u_2 - u_1)}{[\ln\{(z_2 - d)/(z_1 - d)\}]^2} \quad \dots\dots(2)$$

$$D = \frac{Rn - G}{C_p \cdot \rho \cdot (\theta_1 - \theta_2) + \ell \cdot \rho \cdot (q_1 - q_2)} \quad \dots\dots(3)$$

水田など湛水状態では、水深や流入・流出水量に依存する水への貯熱量の評価精度が低く、熱収支法より空気力学的方法の適用が多い⁹⁾。

2.2 陸上生態系における大気微量ガス濃度の測定

陸上生態系における微気象学的なフラックス測定では濃度勾配の測定精度とDの評価精度が鍵となる。生態系におけるガス濃度は、風速変動や日射強度の変化に伴って著しく変化するので、平均場における時間平均濃度を把握する事が重要

となる。CO₂については十分な感度の非分散形赤外線分析計(NDIR)が開発されており、従来多くの成果が上げられてきた。他の大気微量ガスについては、大気中の濃度が低く十分な精度で測定できるNDIRはなかった。このため、ガスクロマトグラフ(Gas Chromatograph, GC)が多用されてきたが、非連続測定であること、分析試料が少ないことなど、生態系での測定には問題を含んでいる。フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)による大気微量ガス濃度の測定も可能であり、著者らはCH₄、N₂Oの濃度測定に利用しているが、連続測定という観点からは、NDIRが望ましい。

なお、ガス濃度の変動(c')と、超音波風速計などにより風速の鉛直成分の変動(w')を測定することにより、渦相関法を適用したフラックス(F=c'w')の測定が可能である¹⁰⁾。しかし、オープンパス型の赤外線濃度変動計が開発されているのはCO₂と水蒸気のみであり、これら以外の大気微量ガスについては、濃度変動を計測可能な測定器が未開発である。一方、微量ガスやフラックス強度の弱いフィールドでの観測では、顕熱や潜熱輸送に伴う密度補正の必要性が指摘されており¹¹⁾、渦相関法による観測の優位性が弱まりつつある。

2.3 非分散形赤外線分析計の低濃度CH₄測定への応用

NDIRはセル中のガス濃度をリアルタイムで検出でき、大気を連続的に吸引し、適当な時間範囲で平均化することにより、その場の平均濃度を求めることができる。今回、低濃度で濃度変動が大きい陸上生態系でのCH₄濃度を測定するためのNDIRを開発した。これは、気象庁綾里観測所で用いられている低濃度測定用のNDIR¹²⁾をベースとし、フィールドでの移動測定を可能とした。本装置の外観を図1に示す。

分析部は試料ガスとCH₄を含まない雰囲気(比較)ガスとの濃度差を測定する差量式のクロスモジュレーション(流体変調)方式NDIRであり、NDIRの選択性と、試料ガスの前処理による選択性を組み合わせたところに特徴がある。構成ブロック図を図2に示す。

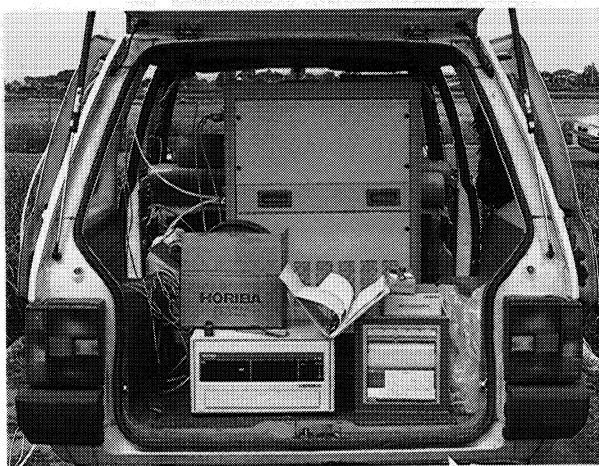


図1 水稲群落で観測中のフィールド用NDIRメタン分析計の外観
Overview of the NDIR CH₄ analyzer developed for the measurements in natural ecosystem, such as paddy rice field.

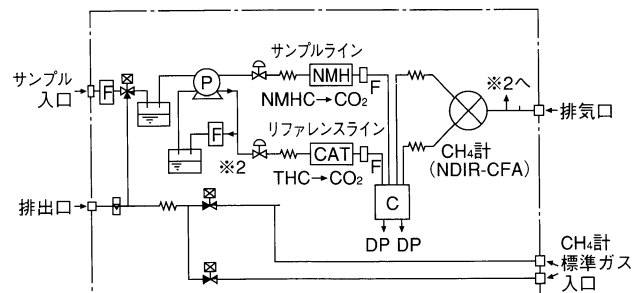


図2 NDIRメタン分析計の前処理部の構成ブロック図
Block diagram showing the treatment part of the NDIR CH₄ analyzer.

試料ガスは加湿された後、CH₄以外の炭化水素ガス(NMHC)を触媒(NMC)により酸化除去し、さらに電子冷却器により露点温度2.5℃に除湿されて一定流量で分析部へ導入される。分析後のガスは加湿後、全炭化水素ガス(THC)を触媒(CAT)

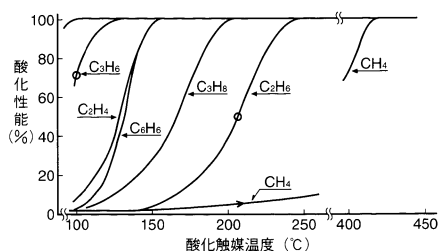


図3 非メタン炭化水素酸化触媒(NMC)の酸化除去効率例
Performance of the catalyst (NMC) to remove non-methane hydrocarbon used.

により酸化除去し、さらに電子冷却器で除湿されて比較ガスとして一定流量で分析部へ導入される。

NMCの酸化効率の特性を図3に示す。NMCはNMHCを完全に酸化除去させる温度条件ではCH₄が10%程度損失するが、エタン(C₂H₆)が50%程度除去される温度ではCH₄の損失を抑えることができる。50%にまで除去されたC₂H₆の干渉については、NDIRの選択性により無視できる範囲に抑えることができる。その他の干渉成分についても、比較ガスとして試料ガスと同一温度に除湿しCH₄以外のベースを試料ガスと同一としたものを用い、差量測定すること、干渉補償型NDIR方式であることなどにより、無視できる範囲に抑えることができる¹³⁾。

また、一定時間毎に2種の校正用標準ガスを導入し、ドリフトをチェックし、出力値を補正可能とした。

これにより、実験室環境下で、測定レンジ0~1/2/5/10ppm、最小検出感度10ppb以下を達成できた。なお、ここで示した最小検出感度とは、2分間隔で25回サンプリングしたデータの標準偏差(σ)をノイズとし、その2倍の値(2σ)を最小検出感度とする定義に基づいた測定結果である。

本装置を用い、水田及び草地で観測を実施し、陸上生態系におけるCH₄フラックス測定に関する問題点を検討した。

2.4 フィールド観測の概要

フィールドでの観測項目と測定器配置例を表1に、観測状況を図4に示す。

項目	測定高度(m)	装置
メタン濃度	1.8, 0.5	赤外線メタン計(堀場製作所, GA-360E)
二酸化炭素濃度	1.8, 0.5	赤外線CO ₂ 計(富士電機, ZFU1DE2)
オゾン濃度	1.8, 0.5	紫外線吸収式オゾン計(Dasibi型) (ダイレック, 1006-AHJ)
乾球温度, 湿球温度	3.4, 0.6, 0.5	通風乾湿計(白金測温抵抗体 100Ω)
風向	3.5	矢羽型風向計(牧野応用測器, VFO-16)
水平風速	3.4, 1.8, 1.0, 0.5, 0.2	サーミスタ風速計(本田工業, GeY-10)
全天日射量	1.2	熱電堆式日射計(EKO, MS-62)
反射日射量	1.2	熱電堆式日射計(飯尾電機, S-SR2)
正味放射量	1.2	通風式放射収支計(EKO, MF-11)
地中熱流量	-1cm	熱電堆式熱流計(EKO, MF-9)
地温	-5cm, -10cm	白金抵抗測温体 100Ω

表1 フィールドでの大気温暖化ガス濃度の測定時の微気象観測項目と測定高さ
Observed elements and setup conditions of equipment for the measurements of atmospheric greenhouse gases dynamics in the natural ecosystem.

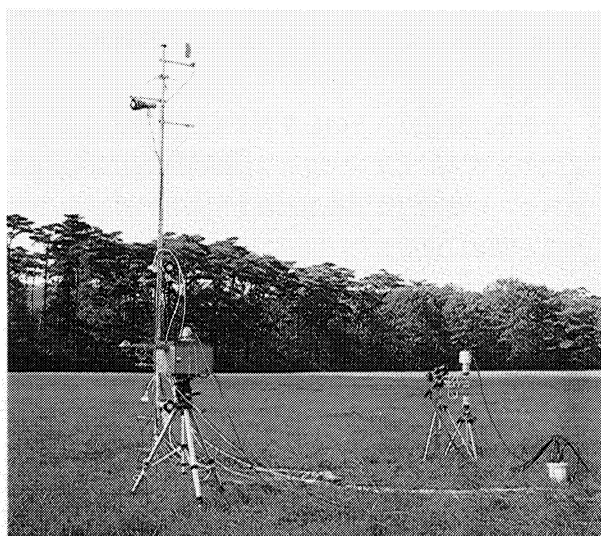


図4 牧草地における大気温暖化ガス濃度と微気象観測の様子
Overview of greenhouse gasses measurement and micrometeorological measurements in the land ecosystem.

観測は、卓越風向に対して十分な吹走距離が得られる広い場所で実施し、高さ4mの観測用ポールを建て、群落直上および群落上0.4~0.7mの2高度に空気の採取口を、これを含む5高度に風速計および日射計、通風乾湿計などを配置した。両高度の試料空気は、テフロン・チューブでNDIRに導入し、2分毎に電磁弁の切り替えて2高度の濃度を測定した。比較のため、同じサンプリング経路より導入した試料空気のCO₂濃度とO₃濃度を測定した。なお、1992年夏季までのCH₄濃度測定では、空気採取口から吸引した空気を1~2時間毎に15~30分間テフロンバッグ(テドラ製)に採取し、これを実験室へ持ち帰りFTIRやGCで測定した。

3. 結果及び考察

3.1 水稲群落上におけるCH₄濃度およびフラックスの特徴

水稲群落上で観測したCH₄濃度の日変化を図5に示す。静穏な大気が安定状態*1の場合には、夕方から濃度が上昇し早朝に最大となり2 ppm以上の高濃度となった後、日射強度の増大に伴って日中のレベル(1.7~1.8ppm)に低下した。一方、夜間の風速が大きく大気が中立状態の場合には、夜間から早朝に顕著な濃度の増大は認められなかった。

*1 安定状態

地面から上層へ向かって気温が高くなる順勾配の状態、低温で密度の高い空気が下層にあるため、大気が安定となる。

CH₄濃度の上昇は水田からのCH₄放出を示しているが、地表付近の大気のCH₄濃度には風速の影響、すなわち、大気の拡散による影響が大きいことがわかる。CO₂濃度の日変化では、日中は光合成による吸収があり、夜間は呼吸による放出があるため、日変化に対して生態系が能動的であるのに対し、CH₄の場合は、大局的には早朝に極大、午後には極小という日変化傾向であるが、大気安定度に依存した受動的な日変化と言える。

水稲群落直上の2高度間のCH₄の濃度差の日変化を図6に示す。ここで、正の濃度差は群落から大気へのフラックスに対応する。図6では、時間的にばらつきがあるが、濃度差は日中は小さく夜間に大きくなる傾向が認められ、拡散の影響が大きい。水稲群落上での濃度勾配の最大値は225ppb/mで、生育中期に観測された。濃度分析にはGCを用い、1~2時間に10分間のサンプリングであったこと、分析試料が0.5mlと少ないことなどのため、図6に示したように濃度勾配の測定値にばらつきが生じたと考えている。

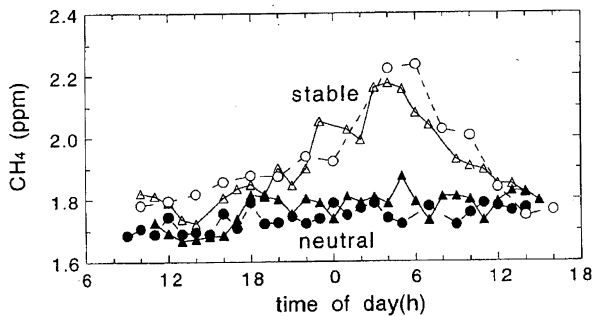


図5 水稲群落上のCH₄濃度の日変化
Daily variations of CH₄ concentrations over a paddy rice canopy under both stable and neutral atmospheric conditions.

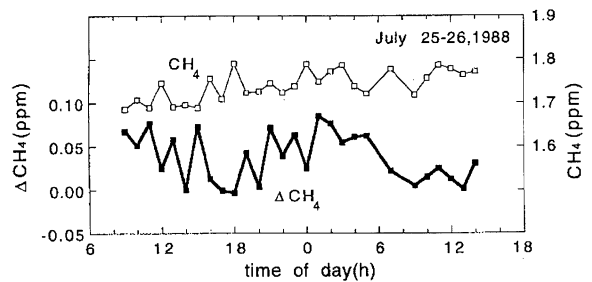


図6 水稲の生育が旺盛な時期の群落上のCH₄濃度と群落直上2高度間(鉛直距離0.4m)の濃度勾配の日変化(1988年7月)
Daily variations of CH₄ concentration and gradient of the concentration over paddy rice in its maximum growing stage.

水稲群落上の濃度勾配とその時刻の拡散速度を気象条件から求め、(1)式により各時刻毎のCH₄フラックスを評価した。フラックスの最大値19mg/(m²h)は、水稲の生育中期に観測されたが、測定時刻毎のばらつきが大きかった。図7に昼間と夜間に区分した平均フラックスを示す。中干し後の8月中旬には、フラックスはほぼ0になり、その後湛水状態になると再びCH₄フラックスが増大した。このような水稲の生育や圃場管理に伴うフラックスの季節的変化の傾向は、チャンバ法による観測結果と一致している¹⁴⁾。昼間のフラックスは、中干しの8月下旬を除き、1.8~7.6mg/(m²h)の範囲である。また、夜間は大きい濃度勾配であるが拡散速度が小さいため、フラックスは昼間に比べて小さい。日積算フラックスは季節的に30~140mg/m²に変化した。水田でのCH₄フラックスは土壌条件や施肥、栽培管理法によっても異なるが、この値はIPCCによる見積り¹⁾より低い値である。

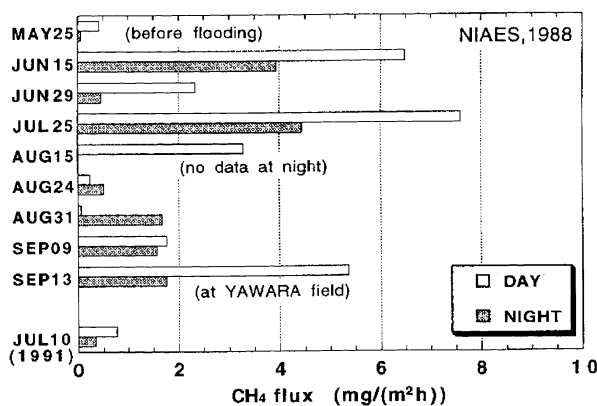


図7 水田における日中と夜間のCH₄フラックスの季節変化
Seasonal change of CH₄ flux over a paddy rice field.

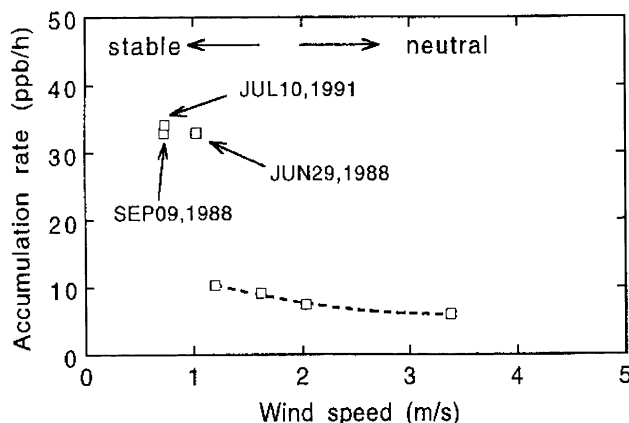


図8 陸上生態系における夜間のCH₄濃度の増加率と風速との関係
Relationship between wind velocity and accumulation rate of CH₄ concentration in the boundary layer of agricultural ecosystem.

3.2 広域的なフラックスの評価

農業環境技術研究所(農環研)の微細気象観測露場(150m×100m)のほぼ中央に設置された観測塔で、高さ25mと1.5mの2高度のCH₄濃度ならびに微気象要素を測定した。周囲は畑地、水田、林地等が混在して分布しており、観測塔での観測値は半径2～4 kmの陸上生態系の平均的ガス濃度の状態を代表する。

夜間のCH₄の濃度増加率と平均風速の関係を図8に示す。風速が1 m/s以下の場合には30ppb/hを越える濃度増加であるが、風速が1 m/sを越えると濃度増加率は10ppb/h以下になり、風速の増加に伴い低下している。風速が低く境界層大気が安定な静穏夜間には、安定層全体をひとつのチャンバとみなすことにより、簡単な1次元定常モデル(ボックスモデル)を用いて、広域的なCH₄フラックスF₀を評価できる¹⁵⁾。地上におけるCH₄濃度の増加率をA₀とし、安定層の上端(高さH)におけるフラックスが0で、安定層内の高度zにおける濃度増加率A(z)は高さとともに直線的に減少すると仮定すると、F₀は次式で求められる。

$$F_0 = 0.5 A_0 (pM/RT)H \quad \dots\dots\dots(4)$$

pは気圧、MはCH₄の分子量、Rは気体定数、Tは気温である。

微気象学的にフラックスが得られている水稻群落について、このモデルを適用して比較した結果を表2に示す。

Date	Nocturnal methane flux (mg/(m ² h))	
	1-dimentiona model	Micrometeoro-logical method
June 29, 1988	0.55 - 2.2	0.45
Sep. 9, 1988	0.54 - 2.2	1.56
July 10, 1991	0.56 - 2.2	0.34

表2 空気力学的方法と境界層ボックスモデルにより求めた、大気が安定な静穏夜間のCH₄フラックス
Comparison of nocturnal methane fluxes evaluated in a stable calm condition by means of both the one-dimensional box model and the micrometeorological method.

安定層の高さHとして典型的な値である50～200mを用いた。両手法間の評価値には差があるが、微気象学的方法による拡散速度の評価精度は夜間低風速時に日中より低下することを考慮すると、このモデルで求められた値は妥当な範囲といえる。同様に、CO₂の濃度増加率5.7ppm/hの場合に適用すると、0.26～1.0g/(m²h)のCO₂フラックスが得られた。この値は微気象学的に求めたCO₂フラックスとよく合致し、この時期の水稻群落の呼吸量としても妥当な値である。

大気が安定な夜間に観測塔で測定されたCH₄濃度増加率から求めたフラックスは、2～3月の静穏夜間に、夏季の水田からのCH₄フラックスに匹敵する値となった。周辺の農耕地土壌は乾燥状態であり植物活性も小さい時期に相当量のフラックスが観測されたことは、陸上生態系内に存在する人為起源や家畜などによる発生量が相当大きいことを示唆する。

3.3 フィールドにおける濃度変動とCH₄の吸収フラックス

2.3節に示した非分散形赤外線CH₄分析計を用いて、農環研観測露場(草地)で測定した結果を図9に示す。地上高0.3mと1.7mの2高度の試料空気を常時分析計

まで導入し、2分毎に電磁弁を切り替えることにより2高度のガスを分析した結果である。同じ試料空気をCO₂分析計でも測定しており、図中にはCH₄濃度とCO₂濃度の経時変化と、風速、風向変化を示している。

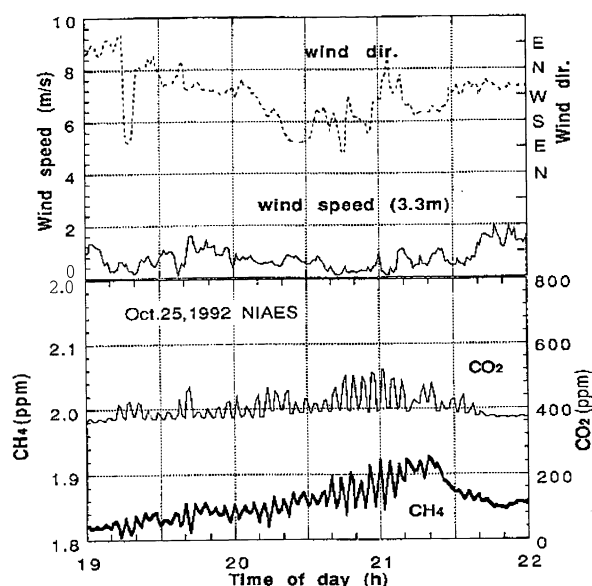


図9 日没後の草地上0.3mと1.7mのCO₂濃度とCH₄濃度の経時変化 (地上0.3mと1.7mの試料空気を2分毎に切り替えてNDIRで分析)
Change of CO₂ and CH₄ concentrations and wind conditions over grass.
Fluctuations of the both concentrations show the difference between the two heights (0.3m, and 1.7m above the ground surface) measured by the switching on every two minutes after sunset.

上下2高度のCH₄濃度は4分周期の波動として捉えられ、風速が1 m/s以下の場合には振幅が増大し、2高度間の濃度差が拡大したことが明瞭である。日没後のため、CO₂濃度は地上高0.3mのほうが1.7mより高く、植物や土壌微生物の呼吸で発生したCO₂が地上から大気へ放出され、上向きのフラックスとなっている。CH₄とCO₂の濃度変動を比較すると、CO₂濃度が極大値の時にCH₄濃度は極小値を示しており、CH₄濃度変動の位相がCO₂のそれとは半周期ずれている。これは、CH₄の濃度勾配では、CO₂とは逆に、地上1.7mのほうが地上0.3mより高いこと、すなわち、CH₄フラックスは大気から地上へ向かう吸収フラックスであることを示している。草地におけるCH₄の吸収フラックスは、草地の土壌中や植物に寄生する好気性微生物によりCH₄が分解消失し、大気中のCH₄が拡散により地表面へ輸送されていることを示す。このような、自然条件下でのCH₄の吸収フラックスは、今回開発したNDIR方式の移動型CH₄分析計により初めて観測された事実である。

3.4 CH₄発生源近くの牧草地におけるCH₄濃度とフラックス

牛が放牧されている牧草地(草地試験場、栃木県西那須野町)における11月上旬の測定結果を図10に示す。日中は2～3 m/sの風が吹き、境界層は弱い不安定から中立状態、16～17時に日没により安定状態となった後再び風が強まり中立となった場合である。牧草地には寒地性牧草が植えてあり、早朝にはかなりの結露が認められたが、土壌が湛水状態になることはなく、水田土壌のような嫌気性土壌微生物によるCH₄発生はないと考えられる。しかし、牧草地には牛の糞尿が相当量排出されており、また糞尿の集積場所も点在することから、これらからCH₄が放出されることは十分に考えられる状況である。

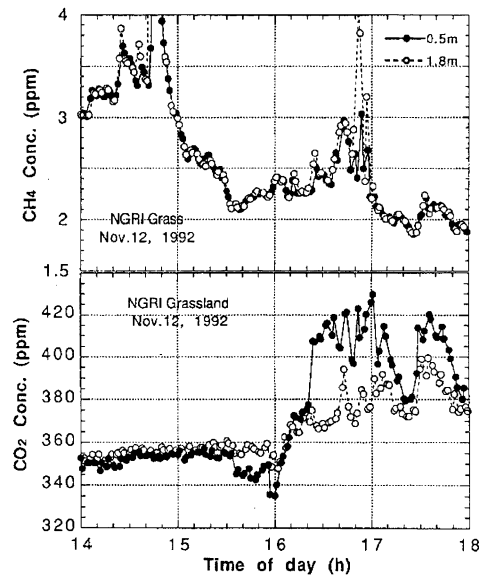


図10 周辺にCH₄発生源が混在する牧草地でのCO₂濃度とCH₄濃度の経時変化（高さ0.5mと1.8mにおける試料空気を2分毎に切り替えてNDIRで分析）
Dynamic responses of CH₄ and CO₂ concentrations at two heights (black circle shows 0.5m, open circle is 1.8 m above the surface, respectively) measured over grass where CH₄ sources are distributed.

比較のためにCO₂濃度の時間変化も図10に示しているが、日中は牧草によるCO₂吸収のため、高さ1.8mと0.5mとの間に3～5 ppmの濃度勾配が生じ、日没近くまで大きい変動は認められない。日没後は牧草と土壤微生物の呼吸により逆の濃度勾配となり、風速が変化したことから、CO₂濃度も変動が大きくなった。

CH₄濃度は風速が比較的高かった14～15時に3～5 ppmの高濃度となり、最高8 ppm以上を記録した。また、17時頃再び高風速となった時間帯にも上昇している。日中の平均濃度はつくば市での観測値より高く、時間的な変化が著しいことは、周辺の糞尿集積場所や観測地点の北約2 kmにある養鶏場など、CH₄の発生源と推測される場所からの移流による影響と判断された。

高さ1.8mと0.5mとの濃度勾配では、CH₄濃度が時間的に大きく変化しない場合には、大気から地表へ向かう弱い濃度勾配が観測され、下向きフラックスであること、牧草地がCH₄のsinkになっていることが確かめられた。この時の濃度勾配は大気のCH₄濃度が高いほど顕著であり、牧草地のような畑地土壌の生態系では高濃度のCH₄が移流してきた場合に、吸収フラックスが増大することを示唆する。一方、CH₄濃度が大きいトレンドを持つ場合には(図10の15時前後)、今回の測定方法では2高度の濃度勾配を把握できない。したがって、CH₄の発生源や吸収源が混在する陸上生態系での動態把握には、2高度の試料空気の濃度差を直接測定する差動型分析計(Differential Type)による観測が有効であり、測定器の開発が望まれる。

発生源からの放出により高濃度のCH₄ガスが付近一帯に停滞し高濃度となること、そのような場合の濃度勾配が大きくなることなどは、GCやFTIRを用いた従来の不連続測定では把握し難い現象であり、NDIR方式によるフィールドでの連続測定がCH₄の動態に関して新たな知見をもたらすと言える。

4. おわりに

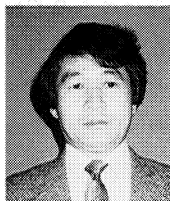
陸上生態系における大気温暖化ガスの動態は、植生状態により大きく異なり、短時間(小)スケールでは気象条件の影響が大きく複雑である。長時間(大)スケールでは、緯度や気候区分、地形、土地利用状況などによる差異と季節変化が重畳する。大気温暖化ガスの濃度上昇に関わっているのは、水田や湛水土壤からの発生や家畜の糞尿による陸上生態系のみならず、埋立地や廃棄物処理場など人為的発生、石炭石油の採掘に付随する放出など、様々である。大気温暖化ガス濃度の上昇を抑制するには、それぞれの発生源強度を正しく評価し、それぞれの寄与を明らかにすることが重要である。特に、陸上生態系では放出源と吸収源が混在することから、その把握は困難であっても重要である。これらにより、個別に効率的な抑制対策などが検討できよう。今求められているのは、より正しい実態把握であり、そのための手法と技術の開発と改善である。

筆者らは、種々の生態系における観測を継続中であるが、精度の高いフラックス評価には、フィールドで信頼度の高いデータが取れる分析計の普及が必要である。NDIRを用いた本観測研究により、CO₂の場合と同程度のCH₄濃度変化や濃度勾配を測定できることが実証され、種々の陸上生態系でのCH₄濃度やフラックスの動態把握に有効であることが確かめられた。しかし、観測時の風速が低い場合、拡散速度を精度よく評価できず、多様な植生状態と気象条件で精度の高いフラックスを評価するには、分析計自体の分解能の向上の他、分析計の時間分解能と適合するサンプリングと解析手法を適用するなど、測定上の改善にも研究の余地が残されている。様々な気象条件下でのフラックスの定量的把握には、評価手法自体の理論的検討が必要と考えている。

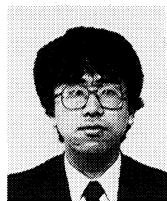
引用文献

- 1) Houghton, J.T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J. Eds., "IPCC Scientific Assessment : Climate change", p365, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. (1990).
- 2) 気象庁気候問題懇談会 "温室効果気体の増加に伴う気候変化II", (1990).
- 3) 公害資源研究所地球環境特別研究室編 "地球温暖化の対策技術" オーム社, 東京, 329p (1990).
- 4) 陽捷行 "農業生態系から発生する微量ガスの温暖化への影響", 農及園, 66, 143-149 (1991).
- 5) 井上君夫・陽捷行 "草地土壌から発生する亜酸化窒素のフラックスの測定", 農業気象, 41, 145-149 (1985).
- 6) 青木正敏 "農業気象の測器と測定法: 光合成と呼吸の測定法", 日本農業気象学会関東支部編, 農業技術協会, 273-315 (1988).
- 7) 原蘭芳信・山田千絵・西沢利栄 "ダイズ群落上の乱流輸送特性", 筑波大学水理実験センター報告, No.16, 13-25 (1992).
- 8) Thom, A.S., "Vegetation and the atmosphere : Momentum, mass and heat exchange of plant communities" ed by J.L.Monteith, Academic Press, London, 57-109 (1975).
- 9) Denmead, O.T. and Bradley, E.F. "The Forest-Atmosphere Interaction : Flux-gradient relationships in a forest canopy.", eds. Hutchison, B.A. and Hicks, B.B., D. Reidel Publishing, 421-442 (1985).
- 10) Ohtaki, E. "Application on an infrared carbon dioxide and humidity instrument to studies of turbulent transport", Boundary-Layer Met., 29, 85-107 (1984).
- 11) Webb, E.K., Pearman, G.I., and Leuning, R. "Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer", Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 106, 85-100 (1985).
- 12) 青木剛, "大気中メタン・一酸化炭素濃度観測システム", Readout, No.3, 85-90 (1991).
- 13) 今木隆雄・三笠元 他, "大気中のCH₄濃度測定装置", 実開平4-3346号(1992).

- 14) Yagi and Minami "Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields", Soil Sci. Plant Nutr.,36(4),599-610(1991).
- 15) 高田久美子・村松久史 "大気中メタンの季節変化及び日変化の観測と解析", 京都大学防災研究所年報, 32(B-2), 231-247 (1989).



原 菌 芳 信
Yoshinobu Harazono
農業環境技術研究所
気象特性研究室室長
農学博士



宮 田 明
Akira Miyata
農業環境技術研究所
気象特性研究室



三 笠 元
Hajime Mikasa
(株)堀場製作所
製品開発部 課長

