

平成21年6月22日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2005～2008

課題番号：17201009

研究課題名（和文）ラドンを用いた複雑地形を含む安定大気境界層中の物質輸送の研究

研究課題名（英文）STUDY ON MATERIAL TRANSPORT UNDER STABLE STRATIFICATION IN A COMPLEX TERRAIN USING RADON AS A TRACER

研究代表者 近藤 裕昭 (KONDO HIROAKI)

独立行政法人産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・主幹研究員

研究者番号：60357051

## 研究成果の概要：

陸域生態系の CO<sub>2</sub> 収支を計測する渦相関法の観測点は複雑地形上に設置される場合が多い。複雑地形地では夜間土壌から放出される CO<sub>2</sub> が塔上の観測システムで測定されず、斜面下降流により流出してしまう可能性が高い。このため、地中のみに発生源が存在するラドンをトレーサーとして流出量を評価することを試みた。観測に先立ち、高精度・高分解能のラドン計を開発した。これを用いて平坦地形にある気象研鉄塔、および複雑地形地にある産総研高山サイトで CO<sub>2</sub> とラドンの計測を行った。その結果、斜面下降流の発生時には土壌起源の CO<sub>2</sub> の 30-50% が斜面を下降していることがわかった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	13,800,000	4,140,000	17,940,000
2006年度	13,800,000	4,140,000	17,940,000
2007年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2008年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
年度			
総計	38,900,000	11,670,000	50,570,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動，自然現象観測・予測，気象学，土壌圏現象，計算流体力学

## 1. 研究開始当初の背景

温室効果気体の循環に果たす陸上生態系の役割は重要であり、世界各地で塔を用いた CO<sub>2</sub> 等の温室効果気体の大気-陸上生態系間の交換量の観測が行われている。しかし、森林生態系による CO<sub>2</sub> の吸収量の推定誤差は現状ではかなり大きく、産総研の岐阜県高山にある CO<sub>2</sub> フラックス観測塔での空気力学的手法（渦相関法）を用いた CO<sub>2</sub> 吸収量の推定値は、生態学的手法による岐阜大学等の推定値よりもかなり多いことが明らかとなった (Saigusa et al., 2004)。これは、(1) 複雑地

形地の稜線にある観測塔では、夜間に呼吸に伴い周辺に発生した CO<sub>2</sub> が下流に流出して測定できない、(2) 夜間弱風時の CO<sub>2</sub> 放出量を、強風時のデータを元に補正しているが、その臨界摩擦速度 ( $u_*$ ) に対する根拠が乏しい等、主として夜間の CO<sub>2</sub> フラックスの測定に問題があるものと考えられる。また、CO<sub>2</sub> に含まれる炭素や酸素の同位体を測定することにより、土壌起源の炭素や酸素の森林への再吸収の割合が理論的には推定できるが、CO<sub>2</sub> の発生・吸収源が土壌や森林内に非一様かつ多数存在し、森林大気中の輸送過程が確定できな

いため量的な評価が難しい。このように、森林生態系による温室効果気体の放出・吸収量を確定するためには複数の手法による検証が必要であり、そのためには複雑地形を含む夜間の森林キャノピー内から大気境界層への物質輸送について、量的な解明を図る必要があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、まず大気中のラドン測定精度の向上を図り、土壌中、森林キャノピー内外、夜間安定大気境界層中のラドン濃度を測定する手法を開発した。さらに観測結果と数値モデルによる解析を組み合わせることにより、(1) 土壌中の温暖化物質発生源の特定、(2) 森林キャノピー中の輸送過程、(3) 夜間の安定大気境界層中での輸送過程、(4) 複雑地形地における夜間冷気流による物質輸送量の解明を図る。具体的には複雑地形地にある産総研高山サイトをメインのサイトとして周辺の夜間の物質輸送量を求め、ここで測定されている森林生態系による年間の  $\text{CO}_2$  吸収量の確定をめざした。

## 3. 研究の方法

以下の4つの項目について分担して研究を進めた。

- (1) ラドン測定精度の向上
- (2) 土壌中ラドン・微量気体物質の測定
- (3) 大気中のラドン・ $\text{CO}_2$ 濃度、 $\text{CO}_2$ フラックスの測定
- (4) 数値モデルによる輸送過程の解明

## 4. 研究成果

### (1) ラドン測定精度の向上

市販のラドン計では時間分解能が悪く、1時間ごとの測定データしか得られず、測定精度も十分ではないため、高精度・高時間分解能を有するラドン計が必要であった。連続測定が可能でかつ高精度・高時間分解能を実現するために通気式静電捕集法を採用し、 $\alpha$ 線検出部に改良を加えた。

検出部として用いられている半導体に直接印加電圧をかけることで電極と検出部位を一体化させて効率良く $\alpha$ 線を検出するよう工夫した。また捕集容器内面を研磨することで捕集容器自身から発生する微量のラドンを極力抑えることでバックグラウンドを低減し、検出限界を向上した。

市販のラドン計と比較して検出限界が2倍以上向上し、測定感度も50%以上向上した。また半導体検出部位を工夫したことで短寿命核種である $^{218}\text{Po}$ のみでの測定が可能となったことから時間分解能は2倍以上向上した。以上の結果から本研究において必要となる高精度・高時間分解能を有するラドン計の開発に成功した。

### (2) 土壌中ラドン・微量気体物質の測定

ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) は半減期約3,824日の放射性元素であり、主な放出源は土壌で、化学的・生物学的に不活性であるため、マイクロ～シノプティックスケールといった様々な空間スケールで物質輸送を調べる上で有用なトレーサーである。それ故これまでサイトスケールでの大気中ラドン濃度測定と併せたラドンフラックスの測定や、それら測定値を用いたパラメタリゼーションによるサイト内～全球スケールのラドンフラックス分布および時間変動の推定等の研究が比較的多数行われてきた。しかし複雑地形においてラドンフラックス時空間分布を調べる研究は非常に限られている。一方、ラドンは土壌中におけるガス拡散係数を推定する上でも非常に有用であり研究例も多数ある。これは土中における温室効果気体等の発生・吸収メカニズムを理解する過程で“土壌空隙内における気体分子の動きやすさ”という物理的要因を分離できるため、深度方向の正味の発生・吸収速度の分布が推定可能となる。これまでのほとんどの研究は土壌を深度方向に一樣と仮定して拡散係数を計算していた。しかし実際の土壌は密度や水分含有量といった物理パラメータが深度方向に大きく変化するため、この仮定は大きな誤差要因となる可能性があるという問題があった。

本研究では、地域～サイトスケールの数値シミュレーションあるいは簡単なボックスモデル解析を行う際に必要となる地表ラドンフラックスを測定し、またそれら測定に基づいたパラメータ化によって対象とする領域のラドンフラックスの時空間分布を推定することが目的である。また同時に土壌中ラドン濃度を測定し、Fickの法則を適用することにより土壌中拡散係数を見積もることが可能となる。本研究では前述した問題を解決すべく土壌深度に依存したより現実的な拡散係数分布の推定を行うために新たな計算手

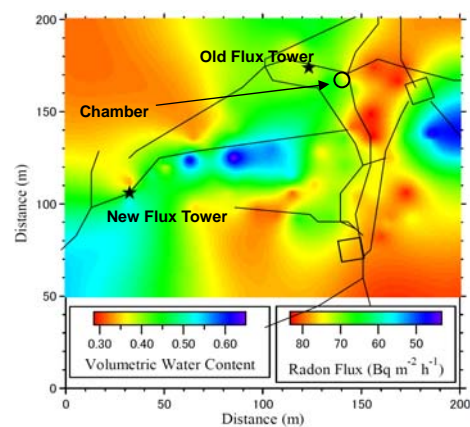


図1. 2006年8月5-7日の産総研高山観測サイトの集中観測で得られた土壌中体積含水率とラドンフラックスのサイト内分布。

法を開発した。これにより、土壌中における温室効果気体の生成・吸収速度の見積りの誤差を低減することを目的とした。

観測は岐阜県高山市郊外の産総研冷温帯落葉広葉樹林サイトにおいて2004年10月からほぼ毎月行った。フラックス測定にはChamber法を用い、土壌空気は土壌に埋設したチューブから吸引することより採取した。空気試料はシンチレーションルーカセルという特殊容器に採取し、ラドンモニターにより $\alpha$ 線をカウントすることによりラドン濃度測定を行った。測定精度は10%以内であった。同時に炉乾法やTDRによる土壌水分量と地温の測定も行った。温室効果気体の濃度測定は、フラスコに採取された空気試料を $\text{CO}_2$ については圧力測定法あるいはガスクロマトグラフィー(GC)によって、 $\text{CH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ についてはGCによって測定した。2006年11月には気象研敷地内において同様の観測を2週間にわたり集中的に行った。地表ラドンフラックスの水平分布あるいは時間変動の推定は、フラックスよりも時空間的に密に行われた土壌水分量測定値とラドンフラックスの反比例関係を利用して内挿計算することにより行った。2006年11月集中観測時の日本一帯におけるラドンフラックスの時空間変動の推定には気象モデルWRFの土壌水分計算値を利用した。

図1に2006年8月5-7日の産総研高山観測サイトの集中観測で得られた土壌中体積含水率と、それをもとに推定されたラドンフラックスのサイト内分布を示す。本サイトは土壌水分・ラドンフラックスの水平不均一性が非常に大きいことが分かった。谷あるいは日陰部分では土壌水分が多く、尾根あるいは日向部分では逆に少ない傾向を示し、ラドンフラックスはそれらに反比例する。また、土壌水分は降水後に増加するが、大抵の場合高所から低所へと土中を流動してゆくため、水平方向の水分移動も重要な要素であると考えられる。本サイトは複雑地形であるが故にそのような過程がより一層土壌水分量のコントラストを明瞭にするものと考えられる。図2に高山サイトにおいて測定された土壌中のラドン濃度と、それら測定値および地表ラドンフラックス測定値にFickの法則を適用して推定された拡散係数を示す。比較のため実測された拡散係数と従来の鉛直一様を仮定して推定された拡散係数も同時に示してある。ラドン濃度は深いところほど濃度が大きい。これは土壌粒子が発生源で、発生後崩壊しながら上方へ拡散してゆく過程を反映している。拡散係数の実測値と本研究の手法により推定された拡散係数は土壌中において深度とともに大きく減少している。これは深いところほど土壌密度が大きい、あるいは土壌水分量が多いために空隙が少なくなっているためと考えられる。従来の鉛直一様の仮定のもと得られた拡散係数は地表付近で過小評価、深部で過

大評価となる可能性があることが分かる。温室効果気体の生成・吸収速度の計算値もこの拡散係数値に比例するので、同様の過小あるいは過大評価傾向を示す可能性があり、それは大きな誤差要因となる。また、ラドン濃度、拡散係数ともに時間変動を示しているが、これは主に降水等による土壌水分量の変化を反映している。本研究の拡散係数推定値が深度10cm付近で実測値と比べて過小評価気味となっているが、これは主に両者の測定地点が一致していないことによるサイト内土壌の水平不均一性によるものと考えられる。

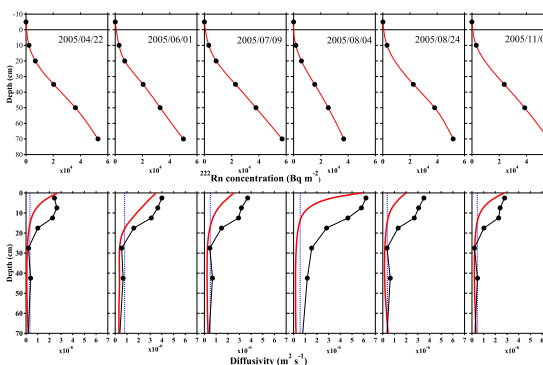


図2. 2005年の観測日(上段図中)ごとのラドン濃度測定値(上段)とそれに基づいて推定された土壌中の拡散係数(下段、赤線)。比較のため実測された拡散係数(黒丸)と従来の鉛直一様を仮定して推定された拡散係数(青線)も同時に示してある。

### (3) 大気中のラドン・ $\text{CO}_2$ 濃度、 $\text{CO}_2$ フラックスの測定

#### ① 気象研鉄塔を用いた計測

開発したラドン計を用いて2006年11月に気象研究所の気象鉄塔における集中観測を実施し、境界層内におけるラドン濃度の変動を調べた。

地表に近い下層大気では、接地逆転層の発達に伴いRn濃度が夜間に上昇する明瞭な日変化を捉えることができた。夜間におけるRnと二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )の増大は比例関係にあることが見出され、生態系の $\text{CO}_2$ フラックスを見積もることができた。この解析結果から、境界層内のRn観測が生態系呼吸量の評価手法の一つとして有用であることが分かった。

#### ② 高山サイトにおける観測

産総研高山サイトにおいて、既存の稜線部の25m塔に加えて、谷筋を約70m下った地点に、新たな塔を建設し、両塔において異なる高度で、気象要素、 $\text{CO}_2$ 濃度、ラドン濃度の測定を行った。

図3に稜線部の各高度で夏季に観測されたラドン濃度および $\text{CO}_2$ 濃度の変動の例を示す。 $\text{CO}_2$ 濃度は、植物活動の日変動の影響を受け、夜間に高濃度、午後早くに低濃度を示す明瞭

な日周変動を示している。平坦地である気象研での観測では、鉛直混合の日周変動を反映して、ラドンについても明瞭な日周変動を示した。一方、高山サイトにおいては、ラドン

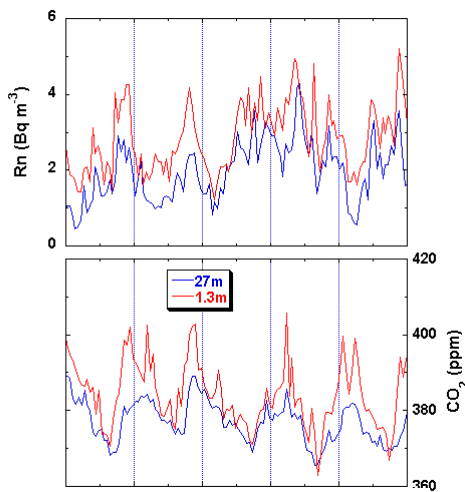


図 3. 高山サイトの稜線部タワーの各高度における  $^{222}\text{Rn}$  および  $\text{CO}_2$  濃度の変動例。

濃度は複雑な変動を示しており、 $\text{CO}_2$  濃度の変動と必ずしも対応していない。気象要素との比較から、複雑なラドン濃度の変動について、以下のような斜面上昇下降風との関係が示唆された。(1)斜面上昇流時には、稜線部のタワーで濃度が増加する傾向見られた。これは、斜面に沿って上昇する過程で土壌から放出された  $^{222}\text{Rn}$  が気塊に蓄積され、尾根タワーに高濃度の気塊が輸送されたことによると推定された。また、両タワーにおいて、それぞれ下層・上層で似たような濃度変動が見られた。(2)斜面下降流時には、谷筋のタワー地表付近のみで濃度増加が見られた。これは、斜面に沿って下降する過程で土壌から放出された  $^{222}\text{Rn}$  が気塊に蓄積され、谷筋のタワー地表付近に高濃度の気塊が輸送されたことによると推定された。地表付近でのみ濃度増加が見られるのは、鉛直混合の抑制や高度によるフットプリントの違いが関係しているのかもしれない。

以上から、高山サイトの森林キャノピー内においては、斜面上昇下降風が、物質輸送に大きな影響を与えており、そのトレーサーとしてラドンは有効であることが示唆された。

### ③ $\text{CO}_2$ 降下量の推定

渦相関法による大気-生態系間の  $\text{CO}_2$  フラックス測定に関して、複雑地形地の稜線にある観測塔では、夜間に呼吸に伴い周辺に発生した  $\text{CO}_2$  が斜面下降流により下流に流出して測定できない問題点が指摘されており、その結果、呼吸量を過小評価（吸収量を過大評価）

してしまう可能性がある。このため、 $\text{CO}_2$  流出過程とその流出量を定量的に把握する必要がある。このため、観測結果を基に収支式から森林キャノピー内の下層における斜面下降流による  $\text{CO}_2$  流出量を見積もった。

3台のラドン計を用いて稜線部の塔の地表付近および谷筋の塔に地表付近およびキャノピー直上でラドン濃度の測定を行った。得られたラドン濃度データ、風速データおよび高山サイトにおける土壌から大気へ放出されるラドンフラックスと土壌水分との経験式を用いて、以下の収支式によりラドン収支の各項を推定し、斜面下降流による影響を評価した。

$$h \frac{d[Rn]}{dt} = F_{soil}^{Rn} + K \frac{d[Rn]}{dz} - u \cdot h \frac{d[Rn]}{dx}$$

$h$ : キャノピー内の斜面下降流の厚さ,  $[Rn]$ :  $^{222}\text{Rn}$  濃度, オーバーバー: 地表から高さ  $h$  までの平均,  $F_{soil}^{Rn}$ : 経験式で見積もられた地表からの  $^{222}\text{Rn}$  フラックス,  $K$ : 渦拡散係数,  $u$ : 斜面下降風速,  $x$ : 斜面方向の距離,  $z$ : 鉛直方向の距離

ここで、左辺は地表～ $h$ までの  $^{222}\text{Rn}$  の貯留、右辺第2項は、鉛直方向の輸送、右辺第3項は斜面風による水平方向の輸送の項を表す。観測値と経験式で求まる地表における  $^{222}\text{Rn}$  を代入すると、 $K$  が求まる。 $\text{CO}_2$  についても同様な収支式が成り立ち、 $\text{CO}_2$  濃度データと上記で求めた  $K$  を代入すると、 $F^{CO_2}$ : 地表～高さ  $h$  までの層の正味の  $\text{CO}_2$  収支（夜間の場合は生態系呼吸）が求まる。

$$h \frac{d[CO_2]}{dt} = F^{CO_2} + K \frac{d[CO_2]}{dz} - u \cdot h \frac{d[CO_2]}{dx}$$

本研究では、 $h=3\text{m}$  とし、また、谷筋塔の高さ  $h$  で渦相関法により  $\text{CO}_2$  フラックスを測定し、 $F^{CO_2}$  と比較を行って  $h$  における  $K$  の値を調整した。

2008年8～10月で有効なデータが得られた32の夜のうち、夜間、斜面下降流が起きていた19の夜について試算したところ、平均すると0～3mの層に放出された  $^{222}\text{Rn}$  および  $\text{CO}_2$  のうち、それぞれ約半分が鉛直上方へ輸送され、残りの約半分が下降流により斜面下方へ流出されているということが示唆された。このように、斜面下降流はラドンおよび  $\text{CO}_2$  の収支に大きな影響を与えているものと推測される。

### (4) 数値モデルによる輸送過程の解明

複雑地形地によるフラックス観測では、よくフェッチ（風上方向に地表面状態が一様と見なせる距離）が十分かどうかということがよく議論される。教科書的にはこの距離は測定高度の数十倍と言われている。このことを

もう少し詳細に検討するため、標準  $k-\varepsilon$  モデルの RANS モデルの中に Mochida et al. (2008) による森林キャノピーモデルを取り入れ、ある地点から突然森林が始まるようなモデルで(図4)計算を行った。森林キャノピーの高度は 18m とし、 $\text{CO}_2$  を模して、地面直上およびキャノピー内から一様に非反応のトレーサーを放出させた。

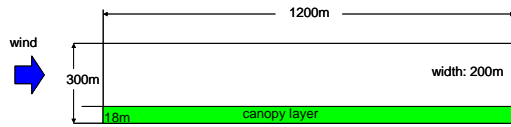


図4 計算に使用した領域

夜間を想定し、 $k, \varepsilon$  の流入境界値を小さくし、流速を  $10\text{ms}^{-1}$  とした計算では(安定度は中立)、流入境界から約 400m のキャノピー下部に反流域が生じ、その地点の前後でキャノピー内外の輸送過程が大きく変化した。反流より上流側では鉛直方向の乱流輸送はきわめて小さく、キャノピーの上に設置されている観測点ではほとんどトレーサーのフラックスは測定されず、ほとんど移流により下流方向に輸送されるのに対し、下流側の鉛直乱流輸送は極めて大きく、地上直上から放出されているトレーサーとほぼ同量のフラックスがキャノピー上にフラックスとして流出をしていた。

#### (5) まとめ

本研究では、土壌起源のトレーサー物質であるラドンについて、複雑地形における移流量を計測できる時間分解能と精度を持つラドン計を開発した。この装置を用いて平坦地形地である気象研構内で観測を行い、ラドンを用いて生態系起源の  $\text{CO}_2$  を分離して測定することができた。複雑地形地にある飛騨高山観測点では2本の小塔による観測を実施し、風下側にある塔におけるラドン濃度が高いことを確認した。観測結果から、ラドンと  $\text{CO}_2$  の夜間斜面下降流時の流出量を推定し、土壌起源のうちの 30-50% が流出していることを見いだした。また、数値モデルの結果から、土壌起源と地上部起源の  $\text{CO}_2$  の輸送に対する移流の寄与はかなり異なり、地上部からの発生  $\text{CO}_2$  のうちかなりの部分が移流により流出していることが示唆される。これらの結果はキャノピー層内の拡散係数の空間的な差や、土壌呼吸量の直接測定値にも依存する。

#### (6) 参考文献

- Mochida, A., et al., 2008: Examining tree canopy models for CFD prediction of wind environment at pedestrian level.. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 96, 1667-1677.  
Saigusa, N. et al., 2005: Inter-annual variability

of carbon budget component in a cool-temperate deciduous forest in Japan (Takayama, AsiaFlux). *Phyton*, 45, 81-88

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 28 件)

- ① 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 和田 晃, 石島 健太郎, 松枝 秀和, 澤 庸介, 飛騨高山サイトにおける大気中ラドン及び  $\text{CO}_2$  濃度の観測, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009/5/29, つくば
- ② 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 和田 晃, 石島 健太郎, 松枝 秀和, 澤 庸介, Transportation of  $\text{CO}_2$  over complex terrain at Takayama site estimated from atmospheric  $^{222}\text{Rn}$  measurement, 2009 Jinju Workshop "Ecological Processes for Carbon Cycling: Temporal and Spatial Variations", 2009/4/22, 韓国, Jinju
- ③ 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 和田 晃, 石島 健太郎, 松枝 秀和, 澤 庸介, 大気中ラドン濃度観測による複雑地形における  $\text{CO}_2$  の輸送交換過程の推定, 日本気象学会2008年度秋季大会, 2008/11/21, 仙台
- ④ 松枝 秀和, 澤 庸介, 村山 昌平, 近藤 裕昭, 石島 健太郎, 和田 晃, 接地境界層内の大気ラドン観測による生態系呼吸量の評価, 日本気象学会2008年度秋季大会, 2008/11/21, 仙台
- ⑤ 石島 健太郎, 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 米村 正一郎, 高村 近子, 冷温帯落葉広葉樹林におけるラドン測定を用いた土壌中温室効果気体変動の研究, 日本気象学会2008年度秋季大会, 2008/11/21, 仙台
- ⑥ 近藤 裕昭, CFDによるフェッチの不十分な森林キャノピー内外の流れとキャノピー上でのスカラーフラックスの計算, 日本気象学会 2008 秋季大会, 2008/11/21, 仙台
- ⑦ 和田 晃, Development of New Electrostatic Radon Measuring system for Ground based Observation, IGAC2008, 2008/9/9, アヌシー (フランス)
- ⑧ 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 和田 晃, 石島 健太郎, 松枝 秀和, 澤 庸介, Examination of  $\text{CO}_2$  transport processes over complex terrain at Takayama site using atmospheric  $^{222}\text{Rn}$  measurement, Workshop on "Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study", 2008/07/31, 岐阜
- ⑨ 松枝 秀和, 澤 庸介, 村山 昌平, 近藤 裕昭, 和田 晃, Trace gases variations in the surface boundary layer observed by MRI meteorological tower in Tsukuba, Japan, Workshop on

“Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study”, 2008/7/31, 岐阜市  
⑩石島 健太郎, 村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 米村 正一郎, Study on greenhouse gas variation in soil using <sup>222</sup>Rn measurement at Takayama site, Workshop on "Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study" 2008/7/31, 岐阜

⑪和田 晃, Development of an electrostatic Radon-222 measuring system for ground based observation, Workshop on "Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study", 2008/7/31, 岐阜

⑫近藤 裕昭, 村山 昌平, 三枝 信子, 飯塚 悟  
Transportation of CO<sub>2</sub> on complex terrain suggested by microscale numerical simulation, Workshop on “Integrating and scaling processes for plot to landscape ecosystem study”, 2008/7/31, 岐阜

⑬村山 昌平, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 和田 晃, 石島 健太郎, 松枝 秀和, 澤 庸介, 飛騨高山サイトにおける大気中ラドン濃度の連続観測, 日本気象学会2008年度春季大会, 2008/05/1, 横浜

⑭村山 昌平, 澤 庸介, 近藤 裕昭, 松枝 秀和, 和田 晃, 菅原 広史, 石島 健太郎, 三枝 信子, 飯塚 悟, 気象研究所鉄塔で観測された大気中ラドンと CO<sub>2</sub> 濃度の日々の変動, 日本気象学会 2007 年度春季大会, 2007/05/14, 東京

⑮近藤 裕昭, 石島 健太郎, 滝川 雅之, 村山 昌平, 澤 庸介, 松枝 秀和, 和田 晃, 菅原 広史, 気象研タワー観測における Rn, CO, CO<sub>2</sub> 濃度日変化の数値シミュレーション, 日本気象学会 2008 春季大会, 2008/5/18, 横浜

⑯村山 昌平, Development of New Electrostatic Radon Monitor for Ground based Observation, Asia-Pacific Workshop on Carbon Cycle Observations, 2008/3/17, つくば

⑰近藤 裕昭, 村山 昌平, 三枝 信子, 飯塚 悟, Scaling up/down of CO<sub>2</sub> Transportation in the Atmosphere with a Numerical Analysis, 日中韓フォーサイト事業ワークショップ, 2008/02/19, ソウル

⑱和田 晃, 大気中ラドン測定装置の改良と気象研究所鉄塔における微量気体の観測, 第13回大気化学討論会, 2007/11/28, 名古屋

⑲石島 健太郎, 村山 昌平, 和田 晃, 澤 庸介, 松枝 秀和, 近藤 裕昭, 三枝 信子, 飯塚 悟, 菅原 広史, 冷温帯落葉広葉樹林と気象研究所構内における土壌水分量及びラドンフラックスの測定—2006年集中観測結果—, 日本気象学会 2007 年度春季大会, 2007/5/14, 東京

⑳和田 晃, 高時間分解能をもつラドン濃度測定方法の改良, 日本気象学会 2007 年度春季大会, 2007/5/14, 東京

21. 近藤 裕昭, 菅原 広史, 澤 庸介, 村山 昌

平, 松枝 秀和, 石島 健太郎, 和田 晃, 三枝 信子, 飯塚 悟, 気象研鉄塔で観測された夜間の安定成層状態と乱流輸送, 2007 日本気象学会春季大会, 2007/05/14, 東京

22. 近藤 裕昭, 村山 昌平, 澤 庸介, 松枝 秀和, 和田 晃, 菅原 広史, 石島 健太郎, 三枝 信子, 飯塚 悟, 安定大気境界層中の物質輸送の研究-ラドンをトレーサーとして-, 2007 日本気象学会春季大会 2007/05/14, 東京

23. 松枝 秀和, 大気中ラドンの測定装置の改良, 第12回大気化学討論会, 2006/6/15, 山形

24. 石島 健太郎, 近藤 裕昭, 村山 昌平, 三枝 信子, 飯塚 悟, 米村 正一郎, 高村 近子, 冷温帯落葉広葉樹林におけるラドン Flux 及び土壌中ガス拡散係数, 日本気象学会 2006 年度春季大会, 2006/5/24, つくば  
他 4 件

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

近藤 裕昭 (KONDO HIROAKI)

(独) 産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・主幹研究員

研究者番号: 60357051

### (2) 研究分担者

村山 昌平 (MURAYAMA SHOHEI)

(独) 産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・主任研究員

研究者番号: 30222433

飯塚 悟 (HIZUKA SATORU)

名古屋大学大学院・環境学研究科・准教授

研究者番号: 40356407

### (3) 連携研究者

三枝 信子 (SAIGUSA NOBUKO)

(独) 国立環境研究所・地球環境研究センター・室長

研究者番号: 00251017

石島 健太郎 (ISHIJIMA KENTARO)

(独) 海洋研究開発機構横浜研究所・地球環境フロンティア研究センター・ポストドクトラル研究員

研究者番号: 90399494

松枝 秀和 (MATSUEDA HIDEKAZU)

気象庁気象研究所・地球化学研究部・室長

研究者番号: 60354552

澤 庸介 (SAWA YOSUKE)

気象庁気象研究所・地球化学研究部・主任研究員

研究者番号: 00354556

和田 晃 (WADA AKIRA)

気象大学校・講師