

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380142

研究課題名（和文）

土壌圏バイオマスの活性を取り込んだ地表面限界領域の物質循環モデリング

研究課題名（英文）Modeling material cycle in surface critical zone regarding activity of soil biomass.

研究代表者

西村 拓（NISHIMURA TAKU）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：40237730

研究成果の概要（和文）：気候変動やそれに伴う水循環、物質循環の変化の予測、適応対策を模索するため、また、リモートセンシングや大規模シミュレーションの成果を実務に生かすためには、大気-地表の境界領域の水循環、物質循環を詳細に理解する必要がある。本課題では、これを念頭に、時空間分解能を挙げたモニタリングと、その成果に基いたモデルの構築を目標として特に、地表近傍の水分と有機物のインパクトに対する応答に着目して研究を進めた。

研究成果の概要（英文）：Understanding water and mass circulation through near surface soil is critical to forecast, mitigate and adaptate future climate change and changes in water and material circulation following climate change. In this project we aim to study impact of water and organic material at near surface soil with temporally and spatially more precise monitoring in order to produce transport model considering more detail information of water and mass circulation in vadose zone.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学

キーワード：透水係数、予測モデル、精密モニタリング、時空間変動、根圏

1. 研究開始当初の背景

地球全体の水循環・炭素循環を定量的に検討するために、リモートセンシング等を用いて大気と大陸の界面である地表面限界領域をめぐる広域の物質循環を探る試みが行われている。また、広域の数値シミュレーションの試みもある。しかし、高空間分解能、時間分解能を持つ小さなセンサーや測定装置の不備が制限要因となって、センシングや予測の真実性の評価が未確定のまま、データが一人歩きすることも多い。地表面限界領域

は、水分、熱、物質、生物活性の変動の非常に大きな領域であり、この領域の物質循環を適切に把握することが、大スケールのセンシングや予測と中・小スケールで生じる現実の現象の橋渡しをするために不可欠である。

特に、植物の根圏は、生物活性が高いため、呼吸による CO₂ 濃度の上昇とそれに起因する化学反応が起きると同時に、熱、水、化学物質の流入・流出が時空間に著しく不均一に生じている。この小さなスケールの時空間変動を解明・把握することは、リモートセンシ

ング等による大スケールのモニタリングデータを有効利用可能な価値あるデータにすると同時に、今後の気候変動下における食糧生産や生態系維持の観点で意義のあることである。

2. 研究の目的

土壌—大気—水域を巡る物質循環を土壌バイオマス動態も含めて把握、予測するための根圏を含めた地表面限界領域の水、ガス、溶質の空間的・時間的変動を高空間分解で連続的にモニタリングするシステムを構築することを目標とする。さらに、そのシステムを用いて、土壌呼吸や汚染土壌の植生浄化を念頭に根圏内の根の活性の時空間変動を明らかにし、根や微生物を含めた土壌バイオマスの活性を考慮した地表面限界領域物質循環モデルを構築する。

3. 研究の方法

1) 地表面限界領域物質移動モニタリングシステムの構築、2) モニタリングシステムを用いた、地表近傍の物質循環の検討、3) 土壌バイオマスの活性取り込んだ物質循環モデルの構築の三段階で研究を進める。これは、システムの構築、構築したシステムの試用と問題点の抽出改善、システムを用いた現象把握というように、進捗の段階を踏んで研究を進めることを意味する。特に、2) の地表面限界領域における物質循環の検討に関しては、地表面近傍における有機物の動態、たとえば、森林のリター層や農地における堆肥等有機肥料、酸性土壌改良に用いられる炭酸塩といったものに着目した。

4. 研究成果

1) 地表面限界領域物質移動モニタリングシステムの構築について

当初、コイル型小型プローブについて検討を進めたが、センサーの歩留まり（作成精度）の問題が解決しなかったため、プローブ長4～5cmのプローブ型小型TDRセンサーによる水分、電気伝導度測定に方針を切り替えた。さらに、ヤシリコンゴムを用いた土中ガスモニタリング装置を作成し、これらを組み合わせたモニタリングシステムを構築した。

2) モニタリングシステムを用いた、地表近傍の物質循環の検討

図1は、作成したシステムを試用したモニタリング例である。東京大学田無演習林で測定した。降雨時に土壌水分量が増すと同時に O_2 の減少と CO_2 濃度の増大が生じる。

また、この降雨時の土中 CO_2 濃度上昇は、温度の高い夏に著しく、秋から冬にかけて地温が低下すると、降雨への応答が鈍くなる傾向が得られた。

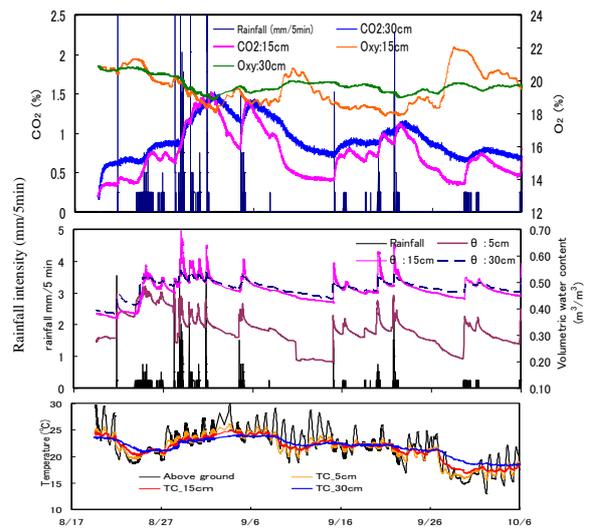


図1 田無演習林における、土中 CO_2 濃度の降雨に対する応答

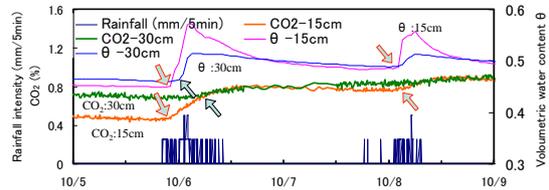


図2 浸潤前線の到達と土中 CO_2 濃度の上昇

降雨に伴う土中 CO_2 濃度の上昇は、浸潤前線によるガス封じ込め効果などいくつかの考え方があった。図2に示すように、このモニタリングサイトでは、浸潤前線の到達した部位から CO_2 濃度が上昇することが明らかである。図1で応答が地温の低下に伴って鈍くなることと併せて考えると、これはすなわち、水分上昇に伴う、土壌呼吸活性の上昇によるものと解釈することができる。

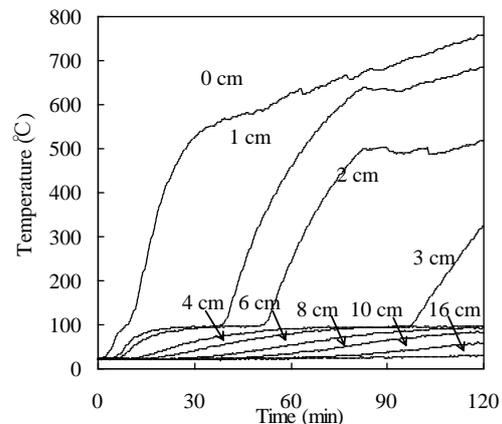


図3 地表面燃焼時の土中温度の変化

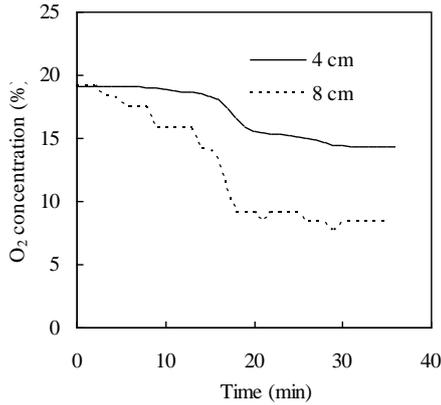


図4 地表面燃焼時の土中 O₂ 濃度変化

また、東京大学秩父演習林で、森林の林床が燃焼した際に、地表面近傍の土壌にどのような現象が生じるかをモニタリングと要素試験で検討した。

図3に示すように地表面で600°Cを超えるような高温になっても、土中の温度が上昇するのはかなり遅れる。また、燃焼中、土中のO₂は燃焼反応に消費される一方で、土中のガス拡散係数に制限されてO₂の供給が不足し、土中O₂濃度は、低下することが明らかになった。このとき、土中では、たとえば、炭焼き釜のような酸素の不足した加熱状態にあり、通常の燃焼とは異なる反応が生じていると考えられる。

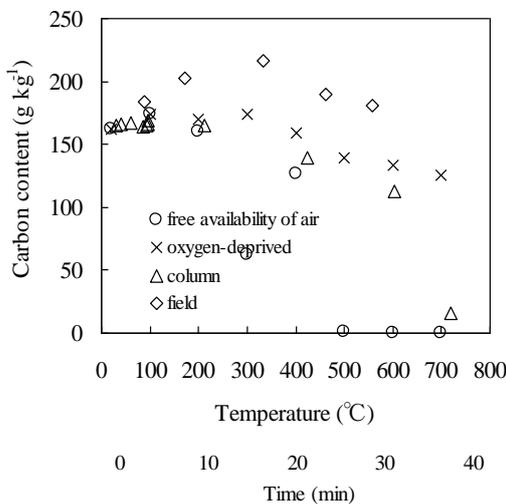


図5 燃焼中の地温と土壌のC/N比

地表面の燃焼のもと、下方の土中で酸素の不足した加熱状態が生じている中で、非常に興味深い現象が見られた。通常、土壌中の有機物は、500°Cを越えると消失すると考えられている。これを留意して、土中の有機物量を評価する際に、500°C程度で土壌試料を燃焼する試験が行われている。しかし、上記の

ような酸欠条件下にある土壌では、高温にさらされても、炭素分が残存した。図5では、field (演習林の原位置試料の測定値)で燃焼中の温度履歴が600°C近くになっても土壌炭素量が質量比で20%程度と燃焼前とほとんど変わらない状態であった。同じ土を通常の有機物含量試験(強熱減量)に供試すると500°Cで炭素含量がゼロになった。森林火災で土壌炭素が失われると指摘されているが、実際には、このような、酸欠下の燃焼では、それほど多くの炭素は消失しない可能性がある。

また、このような酸欠下で加熱処理を受けた土壌は、いずれも強い撥水性を示した。これは、森林火災後の被害林地の再生やそこにおける水循環を考える際に非常に重要な知見である。従来は、撥水性を発現する物質がどこからか移動してきて沈着するものと考えられていたが、原位置で酸素不足状態の下で加熱を受けたために撥水性物質が生成する可能性を示唆したこのモニタリングは、従来の理解を覆す可能性のあるものである。

3) 土壌バイオマスの活性取り込んだ物質循環モデルの構築

モニタリングシステムの構築やその試用、改善に時間を要したため、3年間の期間内で、モデルの完成には至らなかった。しかし、その成果は、課題終了後、文部科学省の気候変動適応研究推進イニシアチブ(RECCA)内において、生かされると同時に研究が継続されている。

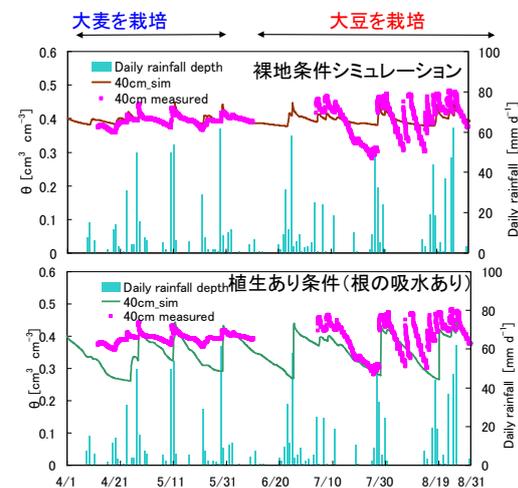


図6 水田転換畑における土中水分量予測(上:蒸発のみを考慮,下:根の吸水を考慮)

たとえば、図6は、北陸地域でモニタリングした水田転換畑の土壌水分の降雨に対する応答を、土壌バイオマス(根)の活性考慮した水・物質循環モデルで予測した例である。図6は、深さ40cmの位置の値であるが、栽培する作物によって根圏の発達が異なり、根

の浅い大麦では、根の吸水を考えない方がモニタリング値（太線）とモデル予測値（細線）の一致が良い。これは、40cmまで根が伸びていなかったためと考えられる。他方、根の深い大豆では、根の吸水を考慮しないと、モニタリングした土壌水分の降雨や降雨後の乾燥への応答を再現することができない。

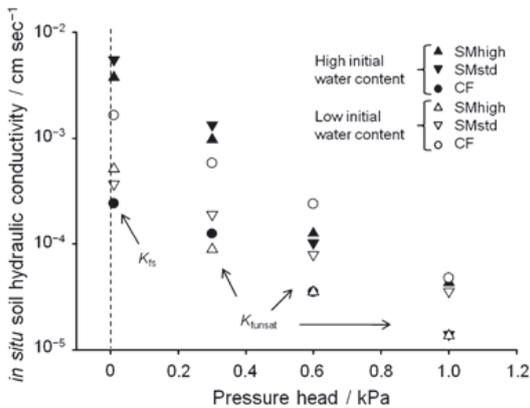


図 7 堆肥施用量と土壌の原位置不飽和透水係数の初期水分依存性

また、近年、温暖化の緩和策として、農地土壌への炭素蓄積が議論されている。図 7 は、炭素蓄積の手段の一つと考えられている、堆肥の農地への投入が、透水性や保水性に与える影響に関するものである。

通常の 3 倍量の畜産堆肥を連用した圃場の土は、通常の方法で不かく乱土壌試料を採取して保水性を測定すると、既往の研究どおり、マトリックポテンシャルが高い高水分領域において高い保水性を示す。しかし、原位置で透水試験を行うと、土壌が湿っているときは、保水性の結果を反映するような透水性を示すものの、好天時のように地表面が乾いている場合には、却って堆肥 3 倍施用区の方が透水性が小さくなる場合がある。これは、おそらく堆肥ならびに堆肥由来の有機物による土壌の撥水性が浸潤開始時の水分量に依存した影響を不飽和透水係数に与えているためと考えられる。従来は、せいぜい保水性の評価までで土壌への有機物投入の土壌物理性への影響を議論していたが、現場不飽和透水係数のデータによって、有機物投入の影響は従来考えられていたものよりも複雑であることが明らかになった。透水性の変化は、降雨浸潤の違い、蒸発による土壌水分損失の程度の変化を通じて土中の酸化還元状態に影響し、さらには、重金属イオンや窒素、炭素の動態に影響するため、今後さらに現象の解明とモデル化を進める必要がある。

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 8 件)

- ①小淵敦子, 西村 拓, 溝口 勝, 井本博美, 宮崎 毅 地表面燃焼下の黒ボク土壌における撥水性発現機構, 農業農村工学会論文集, 査読有, 2009, pp.263:73-80
- ②Asada, K., K. Toyota, T. Nishimura, J-I. Ikeda, and K. Hori, Accumulation and mobility of zinc in soil amended with effluent levels of pig-manure compost, J. of Environmental Sci. and Health Part B, 査読有, 2010, 45, pp.1-8
- ③K. Wijaya, T. Nishimura, B. I. Setiawan, S. K. Saptomo, Spatial Variability of Soil Saturated Hydraulic Conductivity in Paddy Field in Accordance to Subsurface Percolation, Paddy and Water Environment, 査読有, 2010, 8(2) pp.113-120
- ④遠藤敏史, 常田 岳志, 井本 博美, 西村 拓, 宮崎 毅, 埋設型ガスモニタリングシステムを用いた降雨時の土壌 CO₂ ガス濃度変化の検討, 農業農村工学会論文集, 査読有, 2010, 269, pp.25-32
- ⑤Nishimura, T., N. Kamachi, H. Imoto, M. Mizoguchi, and T. Miyazaki, Prefreeze soil moisture and compaction affect water erosion in partially melted frozen Andisols, Soil Sci. Soc. Am. J. 査読有, 2011, 75, pp.691-698
- ⑥Dumale, Wilfredo Jr., T. Miyazaki, K. Hirai, and T. Nishimura SOC turnover and lime-CO₂ evolution during liming of an acid Andisol and Ultisol, Open J. of Soil Science, 査読有, 2011, 1(2) pp.49-53
- ⑦Asada, K., T. Nishimura; H. Saito, Effects of subsoil hardpan on the leaching of zinc and copper in soils amended with swine-manure, J. of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management, 査読有, 2011, 15(4) pp.:259-265
- ⑧Asada, K., Y. Yabushita, H. Saito, and T. Nishimura, Effect of long term swine-manure application on soil hydraulic properties. European J. of Soil Science, 査読有, 2012, doi:10.1111/j.1365-2389.2012.01437.x

〔学会発表〕(計 14 件)

- ①加藤千尋 西村拓 井本博美 宮崎毅, 気候変動下の熱・水分移動特性, 2010 土壌水分ワークショップ, 2010.3.14, 東京, 田町
- ②西村拓, 篠原貴志, 井本博美, 宮崎毅: バイオエタノール糖化残渣を施用した水田における CH₄ および CO₂ 生成, 2009 年農業農村工学会, 2009.8 つくば市
- ③加藤千尋, 西村拓, 石田周也, 井本博美, 宮崎毅 地表面および土壌中に分布する塩の濫觴(らんしょう)に関する研究 2010 農業農村工学会, 2010.9.1 神戸市
- ④西村拓, 朝田景, 干川明 亜熱帯気候下における家畜排せつ物を用いた飼料イネ栽培

2010 農業農村工学会全国大会, 2010.9.1 神戸市

⑤朝田景, 齋藤広隆, 西村拓, カラム流出実験による重金属の非線形吸着特性の推定
2010 農業農村工学会全国大会, 2010.9.1 神戸市

⑥Nishimura, T., N. Kamachi, H. Imoto and T. Miyazaki, Mechanisms of water erosion in a partially melted, frozen Andisol, 2010 19th World Congress of Soil Science, 2010.8.6, Brisbane, Australia.

⑦Nishimura, T., K. Hirai, H. Imoto and T. Miyazaki, How liming on acid soils contributes green house gas emission from agricultural land, JPGU 2010, 2010.5.26 Makuhari, Chiba

⑧Nishimura, T., A. Obuchi, H. Imoto, M. Mizoguchi and T. Miyazaki, Increase in hydrophobicity of forest Andisol under soil surface heating, 1st Inter. Conference and Exploratory Workshop on. Soil Architecture and Physico-Chemical Functions, 2010.12.2 Viborg, Denmark

⑨加藤千尋, 西村拓, 飯田俊彰, 吉田修一郎, 溝口勝, ダウンスケーリング気象データを用いた農地土壌水分・温度状態予測, 農業情報学会 オーガナイズセッション A「気候変動適応作への ICT 的アプローチ」2011.5.15 東京大学弥生講堂

⑩Nishimura, T., T. Miyazaki, H. Imoto, M. Mizoguchi, Y. Ishihama and K. Ibrahim, Causes of ground water fluctuation at Songnen plain Northeast China, JPGU Meeting, 2011.5.27, Makuhari, Chiba

⑪細川聡一郎, 井本博美, 西村拓, 宮崎毅 堆肥由来のコロイドが高有機質黒ボク土壌における銅の移動に及ぼす影響 農業農村工学会大会, 2011. 9. 7, 福岡県

⑫高田綾子, 西村拓他 イトミミズが水田土壌の物理性に与える影響に関する研究, 2011 年農業農村工学会大会, 2011. 9. 7, 九州大学, 福岡県

⑬C. Kato, T. Nishimura, H. Imoto and T. Miyazaki, Predicting the Impacts of Climate Change on Soil Water and Heat Dynamics with Statistically Downscaled GCM Projections, ASA-CSSA-SSSA Inter. Annual Meeting, 2011.10.2 San Antonio, Texas

⑭植松慎一郎, 長谷川周一, 宮崎毅, 西村拓, 黒ボク土畑表層のバイパス流の定量化, 2011 土壌水分 Workshop, 2011.12.22 東京都, 田町

[図書] (計 2 件)

①西村拓, 農文協, 最新農業技術 土壌施肥 Vol.1 世界の環境問題ーアメリカの土壌問題ー, 2009 年, pp.271-279

②宮崎毅, 西村拓 (編著), 東京大学出版会, 土壌物理測定法, 2011 年, pp.224

6. 研究組織

(1)研究代表者

西村拓 (NISHIMURA TAKU)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号: 40237730

(2)研究分担者

宮崎毅 (MIYAZAKI TSUYOSHI)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 00209892
井本博美 (IMOTO HIROMI)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・技術専門員
研究者番号: 40419255

(3)連携研究者

溝口勝 (MIZOGUCHI MASARU)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号: 00181917