

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 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20248034

研究課題名（和文） 農業は生態系の何をこわしてきたか？
—土壌生態系のホメオスタシス回復へ向けて—研究課題名（英文） What has agriculture destroyed in ecosystems?
- Towards the recovery of homeostasis of soil ecosystems -

研究代表者

舟川 晋也 (FUNAKAWA SHINYA)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：20244577

研究成果の概要（和文）：本研究は、生態系の資源獲得プロセスを記述する速度論的要素動態モデルの構築・検証を目的として行った。まず純一次生産量と土壌酸性化速度の間の定量的な関係を明らかにした上で、森林の開墾・耕地化による生態系プロセスの変容を記述した。一方土壌酸性が微生物活動に与える影響を、多糖基質分解プロセスにおける可溶化/無機化二段階プロセスモデルおよび単糖無機化プロセスにおける段階的基質利用コンセプトを用いることによって、メカニスティック・モデルとして定量的に評価した。

研究成果の概要（英文）：The main objectives of the present study were constructing and validating the elemental dynamics kinetic model that described the ecosystem processes for acquiring mineral resources by biosphere. The linear relationship was observed between the rates of net primary production and soil acidification. The alteration of these processes after human reclamation of forests for agricultural use was quantitatively described. The impact of soil acidity on the soil microbial processes was also quantitatively evaluated based on the two-step decomposition model including both solubilization and mineralization of polysaccharides and two-step metabolism by soil microorganisms in substrate utilization.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
2009年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
年度			
総計	32,300,000	9,690,000	41,990,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：生態系プロセス、土壌圏現象、物質動態、モデル化、モニタリング

1. 研究開始当初の背景

本研究では、農業など人為活動の介入の結果、本来自然生態系において必要不可欠なものであった「土壌生態系のホメオスタシス—動的平衡状態」が損なわれ、土壌酸性化、水系への栄養塩の流出、土地生産性/肥沃度の低下といった問題が現出してきた過程を

実証的に検討した上で、これを克服する——ホメオスタシスを回復する——生態系管理の方途を考えるためのモデル構築を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、生態系の資源獲得プロセスを記述する速度論的要素動態モデルの構築・精

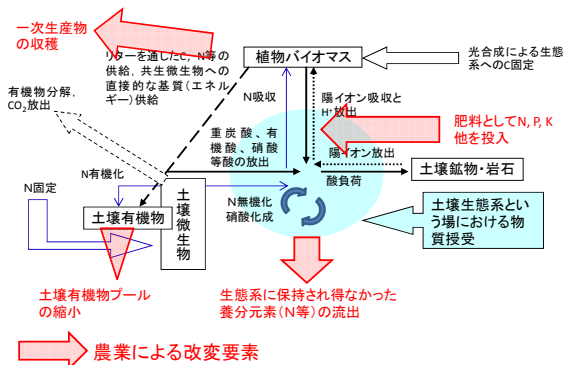


図1 速度論的生態系元素動態モデルの概要

緻化・検証を目的とする(図1)。またこのモデルの各コンポーネントにおける各元素の放出・吸収速度に規定される平衡状態が、農耕等人為活動によって改変され環境問題発生に至るプロセスを検討する。

3. 研究の方法

本研究は、以下のようなフィールド実測および制御条件下の実験から成っている。

(1) 湿潤アジア(日本、タイ、インドネシア)における森林・耕地生態系における一次生産・有機物フラックスと土壤酸性化の定量評価。土壤酸性化は、湿潤地域の森林生態系において共通する土壤生成過程であり、生物活動に伴い生成される酸(炭酸・有機酸の解離、硝酸化成、植物の陽イオン過剰吸収)によって引き起こされる。また森林の農耕地への転換はこれを大きく変容させる。本課題では、プロトン収支法を用いて、これらのプロセスにおける一次生産・有機物フラックスと土壤酸性化の定量的関連性を検討した。

(2) カメルーン(Oxisols分布域)における土壤酸性化の定量評価。(1)の手法を用いて、理化学性の大きく異なるカメルーン東部州の森林/サバンナ移行帯Oxisols分布域における物質動態を検討した。

(3) 酸性ストレスによる有機物動態の変容に関する検討。本課題では、多糖基質分解プロセスにおける可溶化/無機化二段階プロセスモデルおよび単糖無機化プロセスにおける段階的基質利用コンセプトを用いた実験的アプローチより、湿潤地生態系が鉍質土壤に賦与した酸性ストレスに対し、微生物がどのように応答するか検討した。

4. 研究成果

(1) 湿潤アジアにおける森林および耕地生態系における一次生産・有機物フラックスと土壤酸性化の定量評価。

① 日本、タイ、インドネシア森林/土壤生態系における有機炭素フラックスと土壤酸性化。母材およびそれを反映して土壤pHの異なる森林土壤9地点(日本3点[TG, KT, NG]、タイ1点[RP]、インドネシア・東カリマンタ

ン州5点[KR1, KR2, KR3, BS, BB])において、1)炭素フラックスの観測、2)プロトン収支法を用いた土壤層位レベルにおける元素および酸動態の解析を行った。1)については、リターフォール量、樹体増加量、水溶性有機炭素(DOC)の下方浸透量を求めた。また2)については、降雨・林内雨とともに土壤溶液(0層下、A層下、B層下)をテンションフリー・ライシメーターによって採取し、溶液のイオン組成、浸透水量より土壤中の酸の生産・消費量をプロセス毎に定量化し、それらの土壤酸性化への寄与を評価した。以下インドネシア熱帯林5地点における結果を中心に述べる。

生態系中の有機物フラックス(リターフォール量および土壤呼吸量)は、いずれの地点でも $5 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 前後となった。それに対しDOC下方フラックスは0層で最大で($166\text{--}603 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)となり、鉍質土壤に吸着され下層土でその濃度は減少した(図2)。このようなDOCの浸透は、広い範囲で比較すると酸性条件で卓越する傾向がある(図3)。

土壤酸性化と密接に関連した性質(リターのリグニン含量や土壤のリン可給度など)が、DOCの下方浸透を促していると考えられる。一方熱帯林土壤では、高い純一次生産量を反映し、植物の陽イオン過剰吸収と樹体への蓄積が主要な酸性化プロセスとなった($3.0\text{--}8.6 \text{ kmol}_e \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。日本、タイの森

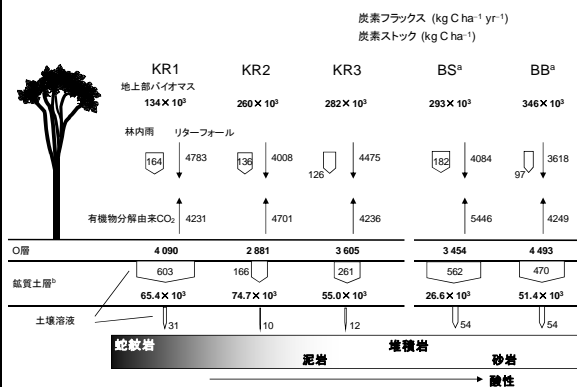


図2 生態系の炭素ストックとDOC・リターフォール・有機物分解由来の炭素フラックス、30 cm深までの土壤炭素蓄積量。

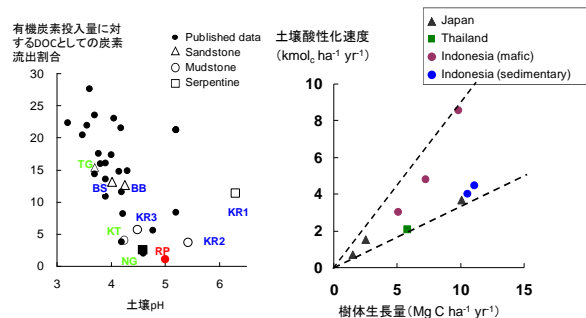


図3 土壤pHとDOCとしての対投入量炭素流出率

図4 年間樹体生長量と土壤酸性化速度

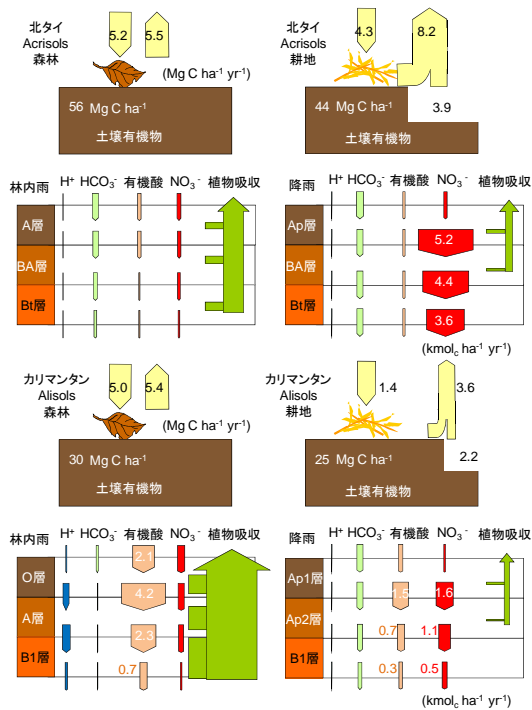


図5 森林耕地化に伴う有機物および土壌中の酸動態の変容

林で得られたデータをあわせて検討したところ、純一次生産量と土壌酸性化速度の間には一定の関係が見られ、樹体成長1 mol炭素あたり0.004-0.010 mol_eの酸性化が進むことが明らかとなった(図4)。

② 森林の農耕地化に伴う生態系プロセスの変容。タイUstults(RP)とインドネシアUdulsts(BS)に成立する森林と、これに隣接した耕地における一次生産・有機物フラックスと土壌酸性化を比較検討し、耕地化に伴う生態系プロセスの変容を定量評価した(図5)。両地域で、森林土壌では炭素収支(リター投入と土壌呼吸)がほぼ釣り合っていたのに対し、耕地では分解が卓越し、特に表層土壌の有機炭素が分解するとともに、窒素が無機化し硝酸として下方へと流亡する。このとき分解した土壌有機物に保持されていた塩基類(特にカルシウム)が、対陽イオンとして系外へ流亡するものと考えられた。タイとインドネシアを比較した場合、土壌肥沃度が高いタイRPにおいて、耕地転換後の有機物分解量、硝酸態窒素放出量のいずれもが大きかった。タイでは農耕に際して作物に供給される養分元素も大きいといえるであろう。

(2) カメルーン(Oxisols分布域)における土壌酸性化の定量評価。

西・中部アフリカには森林とサバンナが混在する森林/サバンナ移行帯が広く分布する。またそこでの主要土壌はOxisolsであり、Ultisolsが卓越する熱帯アジアと条件が大きく異なる。本課題では、1) 植生の違い(森

林とサバンナ)が土壌養分動態に与える影響を明らかにした上で、2) 両植生において開墾が生態系プロセスに与える影響を調査した。調査地は、カメルーン国東部州農村(約10 km四方内)に設置した森林区とこれに隣接する耕地(森林耕地区)、サバンナ区とこれに隣接する耕地(サバンナ耕地区)の計4区である。実験手法は(1)と同様である。

① 開墾前の土壌養分動態。表1に、開墾前の森林区とサバンナ区の土壌の一般理化学性を示した。ここでは森林区において、サバンナ区と比べて表層土壌の有機物のCN比が相当高いという結果に注意しておきたい。両区の林内雨、降雨、土壌溶液の年間平均イオン濃度を図6に示す。森林区では堆積腐植層から大量のNO₃⁻(8.5 kmol_e ha⁻¹ yr⁻¹)が流出し、表層30 cmでも年平均NO₃⁻濃度は205 μmol_e L⁻¹と高く、土壌溶液中の全窒素濃度の約80%を占めていた。堆積腐植層で生産された大量のNO₃⁻は表層30 cm以内で回収されずに下層へ移動しており、NO₃⁻に伴いK⁺、Mg²⁺、Ca²⁺が下層へ移動することが明らかとなった(図6)。このように、森林区において硝酸イオンが駆動力となり陽イオンの下方移動を促進している点は、(1)で得られた湿潤アジアUltisolsにおける結果と大きく異なる点である。また湿潤アジアの例と比べて、カメルーン熱帯林は土壌のより深い層位まで養分循環の場としていることが示唆される。

一方、サバンナ区では森林区に比べてイオンの移動量が著しく小さく、年平均のNO₃⁻濃度も3 μmol_e L⁻¹と小さかった(図6)。表層30 cmの土壌溶液中において、森林区ではNO₃⁻が陰イオンの優占種(約70%)であったのに対し、サバンナ区では有機酸(陽イオン総量-陰イオン総量として算出)が陰イオンの優占種(96 μmol_e L⁻¹、約75%)であることが明らかとなった。このように植生間の違いは、卓越する陰イオン種によって特徴付けられた。これ

表1 森林区とサバンナ区の土壌の理化学性

サイト	層位	深さ (cm)	土壌pH		EC		粒状分布			全炭素 (g kg ⁻¹)	全窒素 (g kg ⁻¹)	CN比	CEC (cmol _e kg ⁻¹)
			H ₂ O	KCl	比C	比S	シルト	粘土	砂				
森林区	A1	0-10	4.2	3.9	140	40	3	32	18.8	1.0	11	8.0	
	A2	10-20	4.2	4.0	91	39	6	51	13.6	1.1	12	6.1	
	B1	20-30	4.0	4.3	61	29	1	68	9.3	0.9	11	7.0	
	B11	30-40	4.3	4.3	42	25	1	70	6.9	0.6	11	6.2	
	D1c	50-80	4.9	4.7	57	23	3	73	5.7	0.6	9	6.4	
サバンナ区	A1	0-8	5.5	4.4	81	39	8	53	39.1	1.8	16	10.3	
	A2	8-19	4.7	4.1	47	37	6	37	18.0	1.2	16	7.6	
	B1	19-38	4.6	4.1	48	27	4	69	9.4	0.8	12	5.6	
	B1	38-65	4.7	4.4	35	23	1	74	6.9	0.6	12	6.8	
	B1c	65-90	4.9	4.7	28	23	1	74	5.2	0.5	11	6.5	

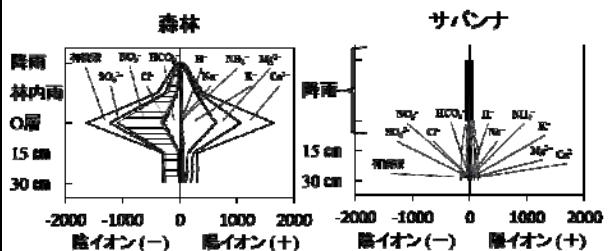


図6 平均土壌溶液組成

は土壌の理化学性(表1)と整合性をもった結果だと見ることが出来る。すなわち本課題で計測した森林生態系においては、おそらく窒素がすでに十分保持されており流出しやすい状況にあること、サバンナ区では炭素に対して窒素が不足気味で、少なくとも系外へ流出する状況にないことが示唆される。

② 開墾後の養分損失。開墾に伴い30 cm以深へ溶脱するNO₃は、森林耕地で53 kg N ha⁻¹ yr⁻¹、サバンナ耕地で28 kg N ha⁻¹ yr⁻¹となった。30 cm深までの年間養分収支は、N, K, Ca, Mgの順に、森林耕地で87, 48, 20, 12 kg ha⁻¹ yr⁻¹の損失、サバンナ耕地では49, 14, 22, 10 kg ha⁻¹ yr⁻¹の損失となり、N, Kに関しては森林耕地でサバンナ耕地よりかなり多量に損失、またCa, Mgに関しては両耕地で同程度損失していることが明らかとなった。これらの損失量が土壌中(0-30 cm)の交換態の養分に占める割合は、K, Ca, Mgの順に森林耕地で33%、3%、21%、サバンナ耕地で8%、2%、5%となり、土壌中の交換態の養分に対する損失割合で見た場合、森林耕地のK, Mgの損失割合が最も大きいことが明らかになった。以上のことから、サバンナを開墾するよりも森林を開墾する方が開墾後一年目までの土壌中の無機養分の損失率が大きく、その原因としては、土壌有機物のC/N比が低い森林区の方で開墾に伴う硝酸化成がより活発であったことが挙げられる。

(3) 酸性ストレスによる有機物動態の変容に関する検討

① ¹⁴Cトレーサー法を用いた日本、タイ、インドネシアの森林土壌におけるセルロース分解の速度論的解析。調査地は(1)で検討した地点と共通である。本課題では、セルロースを代表とする多糖の分解を、可溶化と無機化の二段階プロセスとして解析を行った。まず各森林土壌を用いて、¹⁴C標識グルコース無機化の濃度依存性を測定し、得られたパラメータと土壌溶液中の単糖濃度に基づき、基底呼吸に対する単糖の寄与を推定した。ミカエリス-メンテン式を回帰して得られた単糖の無機化速度のパラメータ V_{max} と K_M は、それぞれ11-400 nmol g⁻¹ h⁻¹と198-3150 μmol L⁻¹と幅広い値を示した。これら単糖の無機化パラメータ値を用いて算出した無機化ポテンシャルは、実測された土壌溶液中の単糖プールに基づく推定無機化速度よりはるかに大きい(平均滞留時間は0.4-1.9 h)。また後者で算出した現場の単糖の無機化速度は、基底呼吸速度の平均60%を占めた。このように、土壌溶液中での継続的な生産と迅速な消費を通して、単糖の無機化は基底呼吸の主要な画分を占めることが示された。

次に、これら森林土壌におけるセルロース可溶化の速度論的解析を行った。現地試験に

おいて、セルロース可溶化の速度定数 k とその規定要因を調べ、微生物のグルコース要求量とセルロース可溶化速度を比較した。積算温度を用いた k 値は土壌によって大きく異なり(1.3-13.3 10⁻⁴ degree-day⁻¹)、乾季のデータを除けば土壌pHと正の有意な相関を示した。セルロースの可溶化速度は、土壌温度に加えて、土壌水分と酸性度によって規定されていると考えられた。得られた k 値と土壌中のセルロース量より、調査地の森林土壌におけるセルロースの可溶化速度は2.7-72.7 mg C kg⁻¹ d⁻¹と推定され、グルコースの潜在無機化速度(26.4-263.4 mg C kg⁻¹ d⁻¹)と比べてかなり低かった。この結果は、セルロースの可溶化速度が、森林土壌における微生物呼吸由来のCO₂放出の律速段階になることを示している。

最後に¹⁴C標識セルロースを用いて、可溶化・無機化を通じたカイネティクスを解析した。具体的には、土壌試料と¹⁴C標識セルロースを用いて、可溶化・無機化速度と、可溶化されたセルロースのCO₂、微生物バイオマス、水溶性有機物、土壌有機物のそれぞれの画分への分配比の定量評価を試みた(図7)。その結果、セルロースから水溶性有機物画分への移行は、いずれの土壌においても常に低く算出され、土壌種に関わらず可溶化されたセルロース由来有機物の吸収速度が非常に速いことが示された。これに対し、セルロースの可溶化速度は土壌によって大きく異なり、土壌pHと正の相関を示した。一方、可溶化されたセルロースのCO₂、土壌残存画分(微生物バイオマスと土壌有機物)への分配比は土壌間で有意差がなく、土壌種に依存しなかった。よって、セルロースの無機化速度は可溶化速度に大きく依存する一方、可溶化されたセルロースの吸収速度と、微生物バイオマス、水溶性有機物、土壌有機物画分への分配比の影

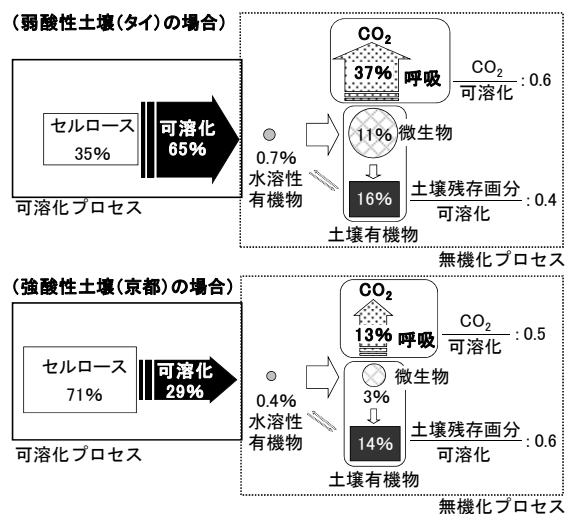


図7 ¹⁴C標識セルロースを用いたセルロースの二段階分(可溶化・無機化)プロセスの定量評価

響は非常に小さかったといえる。

②ストレス要因に対する土壌微生物の応答に関する実験的アプローチ。本課題では、段階的基質利用コンセプトを適用して、微生物の単糖基質利用特性とそのストレス要因に対する応答を解析した。ここで基質利用効率とは、基質炭素のうち微生物バイオマス炭素に組み込まれる割合(組み込まれない分は二酸化炭素として放出される)を意味し、土壌有機物動態モデルにおいては、その値の変動がシミュレーション結果に最も影響を与える重要なパラメーターである。

添加グルコース濃度を違えて測定したところ、基質利用効率は、添加グルコース炭素がバイオマス炭素の50%以下の場合にはグルコース炭素濃度に関わらず一定であるのに対し、添加グルコース炭素がバイオマス炭素の50%以上の場合にはグルコース炭素が増加するにつれて低下するという結果が得られた(図8)。この結果は、基質炭素濃度が低い場合は貯蔵体のみ生成されるが(図9a)、基質炭素濃度が高くなると細胞構成成分である構造体が生成される(図9b)という微生物の段階的基質利用コンセプト(Bremer and Kuikman, 1994)を用いて明確に説明される。以上から、添加基質炭素濃度がある閾値を超えると、基質利用効率が低下し二酸化炭素の放出割合が増加することが明らかになった。

次に、呼吸速度の短期動態、なかでもこれまで解析手法が開発されていないゼロ次タイプ(最初最大一定でその後減少するタイプ)の呼吸速度を解析するために、ミカエリス・メンテン式を用いたモデルを提案した。この式は、最大呼吸速度を含むが、微生物増殖は含まないものである。この解析手法を用いて、アジア各地の異なる気候条件下で生成したストレス要因の大きく異なる土壌において、基質に対する微生物の応答を検討した。はじめにストレス要因に関して代表的な3土壌(低ストレスのカザフスタン森林土壌、攪乱ストレスの高い日本農耕地土壌、酸性ストレスの高い日本森林土壌)において、基質利用効率プロファイルを解析した。その結果いずれにおいても、基質利用効率はグルコース添加濃度が低い場合には一定であったのに対し、グルコース添加濃度がある閾値を超えると低下した。ストレスを想定した2土壌の閾値はストレスの低いカザフスタン森林土壌より低かった(図10)。この違いはグルコース添加後の呼吸速度の増加特性によると考えられた。つまり日本農耕地土壌は、グルコース添加後呼吸速度が指数関数的に増加するまでの誘導時間が短いこと、また日本森林土壌は初期呼吸速度が低いことから閾値が低くなったと考えられた。

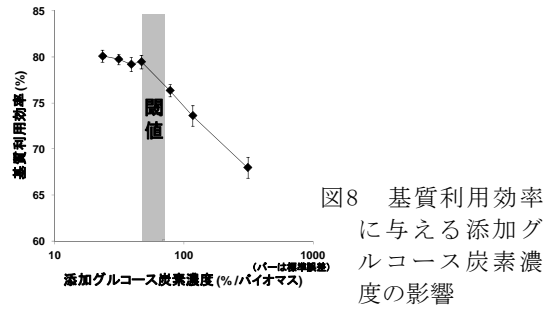


図8 基質利用効率に与える添加グルコース炭素濃度の影響

(a) 基質炭素が閾値以下



(b) 基質炭素が閾値以上

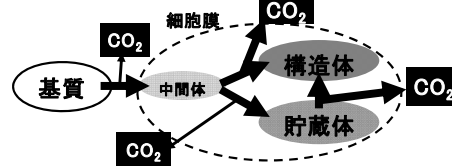


図9 段階的基質利用コンセプト. 基質炭素が閾値以上で、細胞構成成分である構造体が生成され、基質利用効率が低下する。

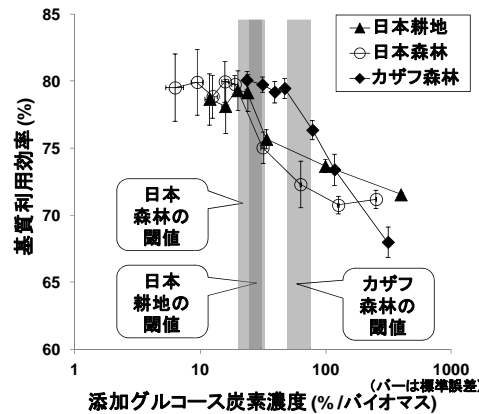


図10 日本農耕地、日本森林、カザフ森林土壌における基質利用効率

(4) まとめ

本研究では、生態系の資源獲得プロセスを記述する速度論的要素動態モデルの構築・検証を目的としたフィールド実測および制御条件下の実験を行い、生物活動による鉱質土壌への働きかけおよびその応答として、純一次生産量と土壌酸性化速度の間の定量的な関係を明らかにした。さらにこのような観点から、森林の開墾・耕地化による生態系プロセスの変容を記述した。一方酸性化のフィードバックとして土壌酸性が微生物活動に与える影響を、多糖基質分解プロセスにおける可溶化/無機化二段階プロセスモデルおよび単糖無機化プロセスにおける段階的基質利用コンセプトを用いることによって、メカニスティック・モデルとして定量的に評価した。

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 24 件)

- ① Hayakawa C, Fujii K, Funakawa S, Kosaki T 2011: Biodegradation kinetics of monosaccharides and their contribution to basal respiration in tropical forest soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57 (査読有), 663-673, doi:10.1080/00380768.2011.623226.
- ② Fujii K, Hartono A, Funakawa S, Uemura M, Kosaki T 2011: Fluxes of dissolved organic carbon in three tropical secondary forests developed on serpentine and mudstone. *Geoderma*, 163, 119-126 (査読有), doi:10.1016/j.geoderma.2011.04.012.
- ③ Fujii K, Hartono A, Funakawa S, Uemura M, Sukartiningih, Kosaki T 2011: Acidification of tropical forest soils derived from serpentine and sedimentary rocks in East Kalimantan, Indonesia. *Geoderma*, 160, 311-323 (査読有), doi:10.1016/j.geoderma.2010.09.027
- ④ Sawada K, Funakawa S, Kosaki T 2010: Simulating short-term dynamics of non-increasing soil respiration rates by a model using Michaelis-Menten kinetics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 874-882 (査読有), doi: 10.1111/j.1747-0765.2010.00495.x.
- ⑤ Funakawa S, Shinjo H, Kadono A, Kosaki T 2010: Factors controlling in situ decomposition rate of soil organic matter under various bioclimatic conditions of Eurasia. *Pedologist* (査読有), 53, 50-66.
- ⑥ Sawada K, Funakawa S, Kosaki T 2008: Soil microorganisms have a threshold concentration of glucose to increase the ratio of respiration to assimilation. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54, 216-223 (査読有), doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00235.x.

[学会発表] (計 22 件)

- ① Funakawa S 2011: Significance of soil acidity to sequester organic carbon in soils. KSEA's 30th Anniversary International Symposium, 7 July 2011, Jeju, Korea.
- ② 藤井一至、早川智恵、森圭子、真常仁志、舟川晋也、小崎隆 2011: 森林生態系における溶存有機物の下方浸透量の定量評価。日本土壤肥料学会 2011 年度大会、2011 年

8 月 9 日、つくば国際会議場。

- ③ 早川智恵、藤井一至、舟川晋也、小崎隆 2011: ^{14}C トレーサー法を用いた森林土壌におけるセルロース分解プロセスの速度論的解析。日本土壤肥料学会 2011 年度大会、2011 年 8 月 9 日、つくば国際会議場。
- ④ 沢田こずえ、舟川晋也、小崎隆 2010: 乾燥履歴の異なる土壌における乾燥再湿潤処理によって増加する基質炭素濃度の推定——添加グルコース炭素濃度を指標として。日本土壤肥料学会 2010 年度大会、2010 年 9 月 9 日、北海道大学。

[図書] (計 4 件)

- ① Funakawa S, Watanabe T, Kadono A, Nakao A, Fujii K, Kosaki T 2011: 4. Soil resources and human adaptation in forest and agricultural ecosystems in humid Asia. In *World Soil Resources and Food Security*. Eds. R. Lal and B.A. Stewart. p.53-167, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York (共著).
- ② Funakawa S, Watanabe T, Nakao A, Fujii K, Kosaki T 2011: 5. Pedogenetic acidification in upland soils under different bioclimatic conditions in humid Asia. In *World Soil Resources and Food Security*. Eds. R. Lal and B.A. Stewart. p.169-269, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York (共著).
- ③ Watanabe T, Funakawa S, Kosaki T 2009: Distribution of clay minerals in upland soils under different weathering conditions of humid Asia. In *Chemical Mineralogy, Smelting and Metallization*. Eds. E.D. McLaughlin and L.A. Breau, p. 19-56, Nova Science Publishers, Inc., New York (共著).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舟川 晋也 (FUNAKAWA SHINYA)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号: 20244577

(2) 研究分担者

矢内 純太 (YANAI JUNTA)

京都府立大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 00273491

渡邊 哲弘 (WATANABE TETSUHIRO)

京都大学・地球環境学堂・助教

研究者番号: 60456902

縄田 栄治 (NAWATA EIJI) (H20 のみ)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号: 30144348