

B-6 陸域生態系の二酸化炭素動態の評価と予測・モデリングに関する研究

(3) 土壌生物機能のモデル化と定量的評価

④ 土壌機能をめぐる炭素の蓄積・分解モデルの開発

研究代表者 農業環境技術研究所 地球環境研究チーム 袴田共之

農林水産省農業環境技術研究所

企画調整部	地球環境研究チーム	袴田共之
環境管理部	生態管理研究室	松本成夫(現、国際農林業研究センター)・ 三島慎一郎・織田健次郎
環境資源部	土壌管理科上席研究官	早野恒一(現、静岡大学農学部)
環境生物部	植生生態研究室	小泉 博(現、岐阜大学流域環境研究センター)

平成8-10年度合計予算額	13,220千円
(平成10年度予算額)	4,458千円)

「要旨」8年度の国際ワークショップにおいて明らかとなったモデルの改良点と必要情報の収集を進め、得られた成果は次の通りであった：(1) わが国土壌の炭素賦存量に関し、全国の農耕地面積473万haにおける炭素賦存量は20968万トンであり、その内、面積で27%を占める火山灰土壌の炭素賦存量は8841万トンで、全体の42%であり、火山灰土壌の炭素蓄積量の多いことは明瞭であった。(2) 日本の火山灰土壌のうち、アロフェン質火山灰土は、ほぼ半分の面積を覆い、アロフェン質火山灰土の有機物の分解・蓄積過程を精度よく推定できるモデルの必要性が浮き彫りになった。(3) モデルの入力情報としての有機物資源に関するデータベースを整えた。(4) ローザムステッド炭素モデルにつき、火山灰土壌用へのいくつかの改善点が明らかとなり次のステップへの足がかりを得ることができた。

「キーワード」土壌炭素、土壌有機物、モデル、火山灰土壌、アロフェン質火山灰土

1. 序

土壌微生物が、陸域生態系、とりわけ土壌中の炭素動態を大きく左右していることは良く知られている。しかし、土壌生物により進行する土壌炭素の蓄積・分解プロセスのモデル化に関する研究は近年になってようやく盛んになってきたところであり、地球規模の広範な条件下であまねく使えるモデルの完成には至っていない。本課題においては、土壌炭素の蓄積・分解過程を地域的にもグローバルにも良好に解析することのできるモデルの確立をめざして、本研究の他の課題からの成果を取り込みつついくつかの地域または国の土壌条件下における検討を行い、土壌生物機能の定量的評価を試みる。

本課題においては、主として8年度に本課題の一環として行った国際ワークショップにおける議論にもとづき、モデルを改訂し一層精度の良い評価・予測を行うことを目指し、必要な情報収集とデータベース化、ならびにそれらに関する解析を行った。この改定が完成すると、炭

素蓄積能力の大きな火山灰土壌部分を中心として土壌由来の二酸化炭素動態に関する地球規模の評価・予測が一層正確なものとなることが期待される。

2. 方法

本課題において使用するモデルは、Centuryモデル(Parton et al.,1987)、RothCモデル(ローザムステッド炭素モデル: Jenkinson & Rayner,1977)、岩元・三輪モデル(岩元・三輪,1985)の3種である。CenturyモデルとRothCモデルは、土壌炭素の動態を検討するためのモデルとして世界的に良く知られ、世界各地の多くの土壌に対し検証が行われている(Powlson et al.,1995)が、わが国の土壌に対する適用は、その例が無く当研究が始めての適用事例となる。なお、岩元・三輪モデルは、RothCモデルを参考にして開発されたモデルで、わが国土壌を対象とした様々な応用事例があるが、従来は主として窒素過程の検討に活用されてきた。これらモデルにより主として火山灰土壌の炭素蓄積・分解過程を一層正確に評価・予測するために必要な情報を収集し、一部、データベース化を行い、それら一部について解析を行った。

4. 結果

土壌をめぐる炭素の収支は、土地利用によって著しく影響され、従って、農林業等の人為作用により時空間的に変動する。本研究における土壌過程モデルは、それらの変動を的確に記述・予測できる必要がある。時間的には、季節変動等の短期変動から1世紀程度にわたる長期変動を扱い、空間的には、地域的ないしグローバルに主として土壌種や土地利用、作付形態毎の違いを的確に表す必要がある。本研究では、そのような扱いに適したモデルの確立を目的とするが、既に開発されたモデルの中から、目的に合致したモデルを導入し、必要ならば改訂を加えて検討をおこなうこととした。

上記3種モデルを検討の対象として取り上げ、茨城県つくば市の淡色黒ボク土からなる畑の条件を入力して、土壌炭素の分解・蓄積過程を解析し、国際ワークショップを開催して解析結果を検討した(Paustian,et al.,1997; Smith et al.,1997)。

Century及びRothCモデルによる事例検討の結果は以下の通りである。なお、岩元・三輪モデルによる検討結果は、本課題の内のサブ・サブテーマ「農林業地域のカーボン・サイクル・モデルの開発」において報告されている。

(1) Centuryモデル：開墾後の土壌炭素の変遷に及ぼす農耕の影響

当モデルは、地表から供給される植物遺体と土壌中に残される植物根を主要な炭素供給源として土壌微生物の作用により土壌中で炭素が動的平衡のもとで形態変化をするという過程を定式化している。炭素化合物の形態は、形態変化のしやすさに基づき4種に区分されている。

第1に関東地方の代表的土壌である淡色黒ボク土に森林が成立していた時代の土壌炭素の平衡状態を推定し、第2にその後、栽培条件が4段階の発展を経て継続された時に、土壌炭素がどのように変化したかをシミュレートした。それらの結果の概要を図1に掲げた。

西暦1800年と想定した開墾時の土壌炭素含量は表層20cmで12,800gC/m²(7.2%)と推定された。当地方の森林下の淡色黒ボク土としては妥当な範囲に含まれると判断された。

次に、小麦一ダイズの輪作の下で品種と施肥水準が4段階にわたって変遷してきたと想定して、開墾以後の土壌炭素の変動をシミュレートした。開墾後、土壌炭素が概ね35-40%減少し、

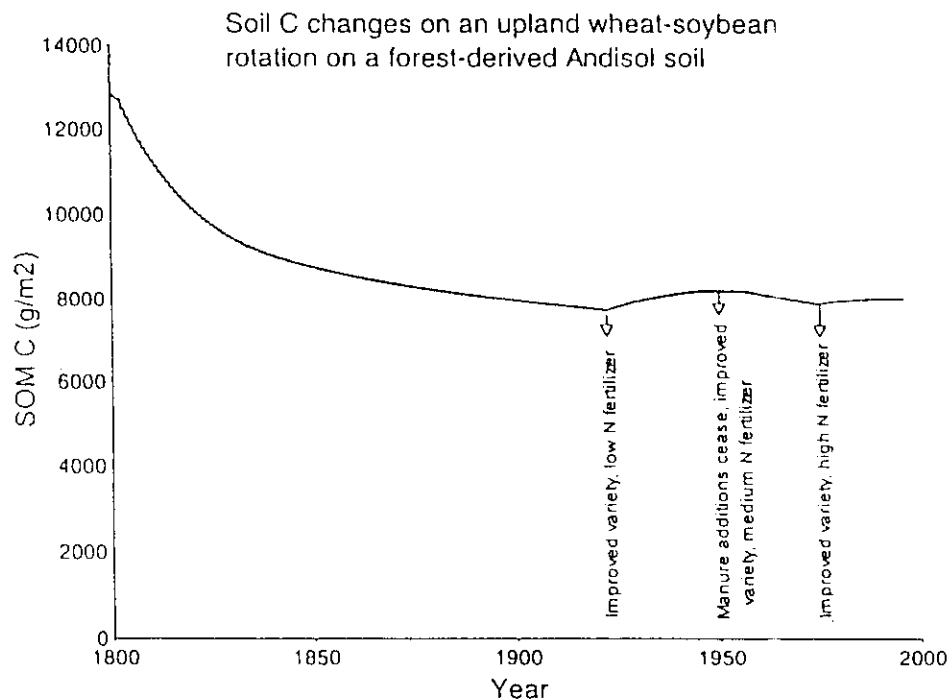


図1 森林を開墾後、小麦-ダイズの輪作を継続した場合の土壤有機炭素(SOM-C)量の変遷(Centuryモデル)。栽培条件の変遷は、図中に概要を示したが、具体的には、1800-1920:低収量品種・無N肥・堆肥1ton/ha・地上部撤去、1920-1950:中位収量品種・N20kg/ha・堆肥2ton・地上部撤去、1950-1970:高収量品種・N50kg・無堆肥・地方部撤去、1970-1995:高収量品種・N100kg・無堆肥・穀実のみ撤去。

その分が正味で大気に放出されたこととなる。しかし、その減少は、1920年以降の現代的農法のもとでは軽減されほぼ平衡状態があらたに実現していると考えられることができる。その水準は、8000gC/m²(4.5%)で、現在の農業環境技術研究所ほ場の水準(4.3%)とほぼ等しい。

(2) RothCモデル：土壤炭素の形態変動に関する検討

当モデルは、4種の活性な土壤有機物と1種の不活性有機物(Inert Organic Matter:IOM)を想定し、活性なものはそれぞれの速度でそれぞれの寿命に応じて順次分解変形するという基本的過程を定式化している。各ステップで二酸化炭素を放出するのはCenturyモデルと同じである。

本モデルでは、分解するまでの寿命が長い(数～十数世紀)有機物をIOMと称している。従来、欧米等の土壤や気候帯、土地利用においては経験的に土壤有機物の総量の約10%がIOMに相当するとされてきた。しかし、火山灰土壤においては、IOMに相当する有機物がより多いとすべき根拠が散見されつつある。そこで、IOMと炭素源の年間投入量との関係を解析し、火山灰土壤に対する本モデル適用の問題点を検討した。その結果の概要を図2に掲げた。

Centuryモデルで想定したと同様な栽培形態が以前より継続してきたと仮定して、従来の知見

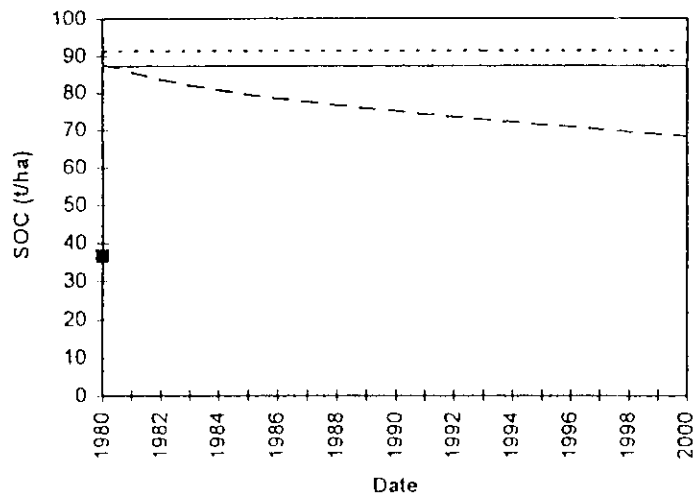


図2 各種仮定の下における20年間にわたる土壌有機炭素量(SOC)の変遷(RothCモデル)。■：供試土壌の分析値とそれから推定した不活性有機物量(IOM)により推定したSOC。点線：炭素源の年間投入量を約3倍にした場合、実線：IOMがSOCの2/3とした場合、鎖線：SOCが短期間に急減するプロセスを想定した場合の、それぞれSOCの変遷。

と対象土壌の関連データを使って対象土壌のIOMを当モデルにより推定すると9.2t/haとなった。さらに、その値と実際の炭素供給量(2.94t/ha/yr)とからモデルにより推定される土壌有機物総量を推定すると図中の■で示される36.6t/haとなった。これは、対象土壌の分析値から求めた92t/haに比べ大幅に少ない。このギャップを埋めるためには、炭素源の年間投入量を約3倍にする(点線)か、IOMが従来知見とは違って、土壌有機物総量の約3分の2に相当する60t/haとする(実線)必要がある。または、短期間に土壌炭素が急激に減るような普通には考えがたいプロセスを導入する(鎖線)必要がある。何れにせよ、火山灰土壌に対する適用にあたっては改訂が必要と判断された。

以上の通り、何れのモデルも基本的には土壌過程を良好に記述・推定・予測することが可能であったが、火山灰土壌特有のプロセスを考慮する必要性が明らかになり、さらに、火山場土壌の炭素蓄積・分解過程を、アロフェン質火山灰土と非アロフェン質火山灰土とに分けて検討する必要性が示唆され(Smith et al.,1997)、また、土壌にはさまざまな有機物が投入されることにより炭素蓄積・分解プロセスが展開されるので、投入される多様な有機物のうち主要な有機物資源に関するデータベースをモデル入力用として整備する必要性が指摘された。

そこで、9・10年度は、次の3点について主としてデータの収集と整理を行い、モデルの改訂に着手した。① わが国土壌の炭素賦存量に関する情報の整理をおこなう。② 日本及びフィリピンの火山灰土壌につき情報を収集するとともにアロフェン質火山灰土壌と非アロフェン質火山灰土壌の分布に関する情報を収集する。③ モデルの入力情報としての有機物資源に関するデータベースを整える。

(3) わが国土壌の炭素賦存量

わが国の農耕地表土の炭素賦存量を、従来の各種調査結果から集計したところ、全国の農耕地面積473万haにおける炭素賦存量は20968万トンであり、その内、火山灰土壌(黒ボク土、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土)炭素賦存量は8841万トンであり、全体の42%であった。火山灰土壌は、面積において全国農耕地の27%であることと対比すると、火山灰土壌の炭素蓄積量の多いことがよくわかる。畑地について表1に例示した。

(4)アロフェン質火山灰土壌の分布

表1 わが国の農耕地表土及び畑土壌(土壌群ごと)の炭素賦存量

土壌群	面積 (ha)	土層厚 (cm)	容積重 (g/100cc)	全炭素含有率 (%)	炭素賦存量 (万t)
黒ボク土	851061	20.0	80.0	4.60	6264
岩屑土	7148	16.0	124.0	1.50	21
砂丘未熟土	22297	20.5	134.2	0.75	46
褐色森林土	287464	17.0	110.0	2.00	1075
赤色土	20120	15.0	107.0	1.60	52
黄色土	99022	18.0	116.9	1.40	292
暗赤色土	13374	20.0	124.4	1.65	55
褐色低地土	227729	18.0	113.7	1.30	606
小計	1528215				8410
全国合計	4734534				20968

RothCモデルは、世界の主要土壌についての検証を経て、温暖化条件下における土壌からの二酸化炭素発生量の地球規模の予測(Jenkinson,1994)に使われ、IPCC95にも貢献している。しかし、本モデルを茨城県つくば市のアロフェン質火山灰土壌に応用し検討した結果、本モデルが、アロフェン質火山灰土壌の炭素の蓄積・分解過程を再現できないことが指摘された。これは、この土壌の炭素・蓄積過程が他の土壌に比べて特異的であることによると考えられる。

そこで、この過程をモデル化するためのデータの収集と解析を行った。収集と解析は未完であるが、その中から、アロフェン質および非アロフェン質土壌のわが国およびフィリピンにおける分布状況をみると、わが国においては両土壌がほぼ等しい面積で分布し、アロフェン質土壌は北海道東南部、東北北東部、関東平野、九州南部等に多く分布する。フィリピンの火山灰土壌のうち、アロフェン・テストに陽性のものは、イサログ火山、マヨン火山の新期降灰部分、カンラオン火山の火山灰土壌等にみられた。これらは、アロフェン質土壌の炭素蓄積・分解過程の検討対象土壌の選定にとって基本的情報を提供する。

(5)投入有機物資源に関するデータベース

9年度に追加収集した有機物の情報は、土壌に人為的に投入される主要有機質肥料、家畜ふん尿、作物残渣等に関する情報である。これら有機物の施用量に関しては、農林水産省農産園芸局農産課土壌保全班が行っている土壌管理実態調査の中間結果を提供願った。家畜ふん尿の処理に関しては、農林統計協会発行の各畜種ごとの政府統計を利用した。作物残渣の処理に関しては、三島ら(1995)によった。作成したデータベースは、全国および都道府県毎の情報として利用できるが、茨城県の例を表2に掲げた。

表2 各都道府県における農耕地に対し施用される有機物資源に関するデータベース (茨城県)

茨城県		堆肥	初級堆肥	厩肥牛糞	厩肥豚糞	厩肥鶏糞	おがくず 厩肥牛糞	おがくず 厩肥豚糞	おがくず 厩肥鶏糞	おがくず バーミ堆肥	稲わら	麦かん
kg FW ha ⁻¹ year ⁻¹												
水田	自給	183.6	0.0	365.0	173.1	3.3	42.4	0.0	0.0	0.0	2,288.1	83.4
	他から	0.0	0.0	238.4	82.4	63.3	29.4	0.0	0.0	47.1	17.7	0.0
畑	自給	684.0	393.3	2,606.4	156.0	272.9	887.5	201.4	345.2	103.0	1.0	352.5
	他から	0.0	0.0	1,394.5	787.5	659.1	933.5	405.6	0.0	57.8	0.0	0.0
樹園地	自給	0.0	0.0	0.0	326.8	0.0	2,614.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	他から	0.0	1,568.6	0.0	683.0	0.0	522.9	0.0	0.0	0.0	326.8	0.0
牧草地	自給	0.0	0.0	68,245.0	1,125.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	他から	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

これらデータベースを利用して、全国の任意の地域の解析を、B-6(4)①の課題で開発される農林業地域のカーボン・サイクル・モデルと結合して実行できるシステムとして構築中である。

(6)RothCモデルの改訂作業

RothCモデル(Jenkinson & Rayner,1977; Coleman & Jenkinson,1996;Jenkinson et al.,1999)のような土壌有機物分解・蓄積モデルが、各種土壌に関し(Jenkinson et al.,1987)、農耕地、草地、森林などの各種土地利用形態において(Coleman et al.,1997)、土壌炭素の変化をシミュレートするために使用されてきた。またそれらは、地域的スケールにおいて(Parshotam et al.,1996)、地球規模のスケールにおいて(Jenkinson et al.,1991; Post et al.,1982; Polglase & Wang,1992)、二酸化炭素フラックスや純一次生産などの推定にも用いられてきた。先進的な6種のモデルの比較によれば、このモデルは、各種土地利用形態、土壌の種類、各種気候区分を通じ、もっとも良好な結果を得ることができた(Smith et al.,1997)。しかし、上述の通り、火山灰土壌の検討においては問題点が見いだされ、本年度は、その解明とモデル改善とに着手した。

日本の火山灰土壌18点(草地土壌8点、林地土壌10点; Wada 1986)の土壌有機炭素のデータを選んで使用し、RothCモデルが良好に記述できることをめざし、2つのモデル・パラメータとその組み合わせ(不活性有機物画分の割合の増加、有機物の腐植化速度定数の減少、両者の組み合わせ)に注目して改訂を試みた。インプットする有機物量は2段階(3.0 tC ha⁻¹ y⁻¹; 4.5 tC ha⁻¹ y⁻¹)に変えて検討を行った。他の火山灰土壌の有機物データを改良モデルの検証用に用いた。

モデル改良前後の火山灰土壌有機物含量(t C ha⁻¹)に対し、測定値と新たなモデルによる推定結果とを比較したところ(図3)、おおむねの一致を見たものの、かなりの改良の余地がうかがわれた。これらの改良のために、¹⁴Cでラベルした植物体の長期インキュベーション実験の結

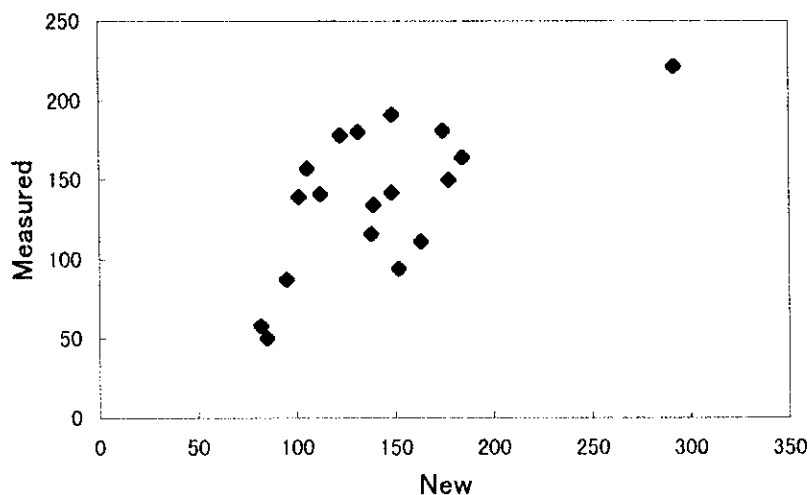


図3 モデル改良前後の火山灰土壌有機物含量(t C ha⁻¹)の比較

果や薫蒸抽出法(Vance et al.,1987)やクロロホルム薫蒸インキュベーション法(Jenkinson & Powelson,1976)などのデータ, 有機土壌炭素による土壌の年代測定の情報などは有用である。

5. 考察

土壌中には大気炭素の2倍程度の炭素が土壌有機物などの形態で含有されているといわれている。その分布には偏りがある、高濃度に分布するのは、火山灰土壌、泥炭土壌、プレイリーやチェルノーゼムなどの草原土壌、ササの優占する地域の一部土壌などである。火山灰土壌は、そこに含有される活性な鉄礬土化合物がイネ科植物などに由来する有機物を特異的に捕捉して蓄積するためといわれている。泥炭土壌に有機物が蓄積するのは、そこに存在する水が植物遺体の分解を遅延させることが主たる原因とされている。その他の有機質土壌は、主としてイネ科植物の供給する有機物の特性に依存するとされている。しかし、それらの蓄積過程について定量的な解析はあまり行われてこなかったために、モデルによる評価・予測を的確に行うには情報が不足している。それが、このサブ課題の建てられた理由である。

土壌有機物の分解・蓄積モデルに関しては、近年、旺盛に開発が進んだが、その中から、本課題では上記の3モデルを検討の対象とした。CenturyモデルとRothCモデルは、それらの中でもっともしばしば応用されて有効であることが良く知られている。

特にRothCモデルは、Jenkinson et al.(1991)が、それを使ったシミュレーションによって世界の土壌から発生する二酸化炭素の量を推定して、温暖化に対する注意を喚起して以来、多くの場面で応用が試みられ、多くの知見を発進している。しかし、本課題において明らかになった通り、火山灰土壌における分解・蓄積過程を扱うにあたっては解決すべき課題が内包されている。火山灰土壌は、世界の火山国においては大変重要な土壌であり、そこにおける土壌有機物過程を的確に把握することは、温暖化の解明、予測、対策にとって不可欠である。

Centuryモデルは、植物生産、窒素循環と組み合わせられて炭素循環をシミュレートすることが出来るので、農業生産と炭素過程の関わりを検討する目的で活用することが出来る。本課題においても、関東地方の代表的土壌における代表的作付け体系の長期シミュレーションを極単純な条件設定ではあるが試みた結果、リーズナブルな結果を得た。この経験を踏まえてより多くの正確な情報に基づく農業活動の評価を行うことが可能である。今後、その方向を引き続き追求していく必要性和可能性が見えてきたといえる。

炭素循環の土壌過程においては、土壌有機物の分解によるCO₂の放出(分解)過程に注目が集まりがちであるが、同時に有機化(蓄積)過程は特に炭素のシーケストレーションにとって重要である。本課題のモデルは、その分解・蓄積の全過程を対象としている。その過程には、土壌微生物を含む土壌の性質、添加される有機物素材の質と量、環境条件などが影響する。火山灰土壌に覆われる面積の多い日本にとって、火山灰土壌の炭素過程を一層正確に評価することは、とりわけ大きな意義をもつ。また、わが国にとどまらず、環太平洋火山帯を有する諸国の炭素収支を算定するに当たっても重要な情報を与えることとなる。京都議定書第3条で、森林(いわゆる「京都フォレスト」)および農耕地等の人為的活動による炭素収支の評価を行うことが義務づけられたことから、当課題の研究結果をさらに発展させる必要性が大きくなったと考えられる。

6. 引用文献

- Coleman K & Jenkinson DS. (1996) RothC-26.3. A model for the turnover of carbon in soil. In "Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing, Long-Term Datasets" (DS Powlson, P Smith and JU Smith, Eds.) pp237-246. NATO ASI Series I, Vol. 38, Springer-Verlag, Heidelberg
- Coleman K, Jenkinson DS, Crocker GJ, Grace PR, Klir J, Körschens M, Poulton PR, Richter DD. (1997) Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using Roth C-26.3. In: Evaluation and comparison of soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. (Eds: P Smith, DS Powlson, JU Smith & ET Elliott) Special issue of *Geoderma* **81**, 29-44
- 岩元明久・三輪睿太郎(1985)我が国の有機物動態と地力、圃場と土壌、196&197、148-157
- Jenkinson DS, Adams DE & Wild A. (1991) Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*, **351**, 304-306
- Jenkinson DS, Harris HC, Ryan J, McNeill AM, Pilbeam CJ and Coleman K (1999) Organic matter turnover in a calcareous clay soil from Syria under a two-course cereal rotation. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**, 687-693
- Jenkinson DS, Hart PBS, Rayner JH, Parry LC. (1987) Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *INTECOL Bulletin* **15**, 1-8
- Jenkinson DS & Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V. A method for measuring soil biomass. *Soil biology and biochemistry*, **8**, 209-213
- Jenkinson DS & Rayner JH, (1977) The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*, **123**, 298-305
- Jenkinson, D.S. & J.H. Rayner (1977) The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* **123**, 298-305.
- 三島慎一郎・松本成夫・袴田共之(1995)日本における農地に還元可能な有機物資源の現存量とフローの把握、農業環境技術研究所資源・生態管理科研究集録、11.35-48.
- Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. Cole & D.S. Ojima (1987) Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 1173-1179.
- Paustian, K, D. Ojima & T. Hakamata (1997) Workshop Report - Demonstration of Century

- Model. International Workshop on the Evaluation of Soil Processes on Carbon Cycling in Terrestrial Ecosystems and their modelling. March 1997, Tsukuba, Japan
- Polglase PJ & Wang YP (1992) Potential CO₂ induced carbon storage by the terrestrial biosphere. *Australian Journal of Botany* **40**, 641-656
- Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ & Staggenberger AG (1982) Soil carbon pools and world life zones. *Nature* **298**, 156-159
- Powlson, D.S., P. Smith and J.U. Smith (eds) (1995) Evaluation of soil Organic Matter Models, - Using Existing Long-Term Datasets - NATO ASI Series, Series 1, Vol.38. Springer.
- Saggar S, Parshotam A, Sparling GP, Feltham CW, Hart PBS (1996) C-14-labelled ryegrass turnover and residence times in soils varying in clay content and mineralogy *Soil Biology and Biochemistry*, **28**, 1677-1686
- Smith P, Smith JU, Powlson DS, McGill WB, Arah JRM, Chertov OG, Coleman K, Franko U, Frolking S, Jenkinson DS, Jensen LS, Kelly RH, KleinGunnawiek H, Komarov AS, Li C, Molina JAE, Mueller T, Parton WJ, Thornley JHM, Whitmore AP (1997) A comparison of the performance of nine soil organic matter models using seven long-term experimental datasets. In: *Evaluation and comparison of soil organic matter models using data sets from seven long-term experiments*. (Eds: P Smith, DS Powlson, JU Smith & ET Elliott) Special issue of *Geoderma*, **81**, 153-225
- Smith, P., T. Willison & T. Hakamata (1997) Modelling Changes in the Organic Carbon Content of Japanese Soils using the Rothamsted Carbon Model. International Workshop on the Evaluation of Soil Processes on Carbon Cycling in Terrestrial Ecosystems and their modelling. March 1997, Tsukuba, Japan
- Vance ED, Brookes PC and Jenkinson DS (1987) An extraction method for measuring microbial biomass C. *Soil biology and biochemistry*, **20**, 329-335
- Wada K (1986) Ando soils in Japan. Kyushu University Press

7. 研究発表の状況

学会等の口頭発表

(論文)

- Hakamata, T., H. Ikeda, S. Yamamoto & K. Nakane (1998) How do terrestrial ecosystem contribute to global carbon cycling as a sink of CO₂? Some findings from research projects on carbon dioxide and carbon cycle related to the global warming. *Global Environmental Research*, **2**: 79-86.
- Hakamata, T., N. Matsumoto, H. Ikeda & K. Nakane (1997) Do plant and soil systems contribute to global carbon cycling as a sink of CO₂? Experiences from research projects in Japan. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **49**: 287-293.

織田健次郎, 三島慎一郎 (1998) 有機物および化学肥料の農地施用量のデータベース…近年における窒素養分の農地施用量の推移… 資源・生態管理科研究集録, 15.

(口頭発表)

Paustian, K, D. Ojima & T. Hakamata(1997) Workshop Report - Demonstration of Century Model. International Workshop on the Evaluation of Soil Processes on Carbon Cycling in Terrestrial Ecosystems and their modelling. March 1997, Tsukuba, Japan

Smith, P.,T. Willison & T. Hakamata (1997) Modelling Changes in the Organic Carbon Content of Japanese Soils using the Rothamsted Carbon Model. International Workshop on the Evaluation of Soil Processes on Carbon Cycling in Terrestrial Ecosystems and their modelling. March 1997, Tsukuba, Japan