

## 土壌有機物動態モデルの日本の農耕地土壌への適用と改良

白戸 康人\*

Application and Modification of Soil Organic Matter Models  
for Japanese Arable Soils

Yasuhito SHIRATO\*

\* National Institute for Agro-Environmental Sciences  
Kan-non-dai 3-1-3, Tsukuba, Ibaraki 305-0035**Key words** : soil carbon, simulation model, Andisols, Paddy soils, long-term experiment

## 1. はじめに

農耕地土壌の肥沃度維持や温暖化をもたらすCO<sub>2</sub>の排出・吸収量の定量的把握のため、土壌有機炭素の変動予測が重要である。気候や農法が変化した場合の将来における土壌炭素の変動を予測するには、有機物の集積・分解過程に関わる主要な因子を数式として取り入れたモデルの活用が有用である。世界では多数のモデルが提案されている (McGill, 1996) が、欧米で開発されたものがほとんどで、適用例は欧米における温帯の畑土壌に偏っており、日本を含むアジアにおいて重要な水田や火山灰土で十分に妥当性が検証されていない。

そこで本研究では、既存の主要なモデルのなかでも簡便で信頼性が高いローザムステッド・カーボン・モデル (RothC ; Coleman and Jenkinson, 1996) を中心に、日本の農耕地土壌におけるモデルの妥当性の検証を行い、必要であれば改良モデルを提案することを目的とした。

## 2. 方 法

日本各地の長期連用試験データ (非黒ボク土の畑で 6 地点, 黒ボク土の畑で 4 地点, 水田で 5 地点) から、モデルのパラメータを収集し、土壌炭素量の経年変化の実測値と、モデルによる計算値を比較することによりモデルを検証した。

英国で開発された RothC モデル (図-1) に加え、水田に関しては、米国で開発された DNDC (De-Nitrification and De-Composition) モデル (Li *et al.*, 1992) の検証も行った。

## 3. 結 果

日本の非黒ボク畑土壌における長期連用試験 6 地点において RothC の適合精度を検証した結果、土壌有機炭素 (SOC) の時間変化のモデル計算値は実測値と精度良く一致した (図-2)。検証に用いた地点はさまざまな気象・土壌・営農管理条件を含むため、RothC は日本の非黒ボク土畑において SOC の経年変化を精度良く計算できると結論した (Shirato and Taniyama, 2003)。

日本の黒ボク畑土壌 4 地点において同様の検証を行った結果、SOC の経年変化の計算値は実測値を大きく下回り、他の土壌と比べて腐植が非常に安定であるという黒ボク土の特性がモデルで考慮されていないことが原因と考えられた。黒ボク土が多量の SOC を蓄積する主な原因は、火山灰から供給される活性のアルミニウムなどが腐植と結合して安定な複合体を形成するためと考えられるため、黒ボク土の理化学性データベース 32 地点のデータ (Shoji *et al.*, 1993) を用い、ピロリン酸塩可溶アルミニウム含量が増加するほど腐植画分 (HUM) の分解率を小さくする関係式を導いた。こうして HUM 画分の分解率を変化させた改良モデルでは精度が現行の RothC モデルよりも大きく向上した (図-3) ため、改良モデルは日本の黒ボク土における SOC の経年変化予測に有効であると結論した (Shirato *et al.*, 2004)。

DNDC モデルは、既存の主要な SOM 動態モデルの中で唯一、水田にも適用可能できるが、長期の SOC 経年変化に対する検証例はないため、日本の水田 5 ヶ所の長期連用試験データを使って適合精度を検証した。現行の

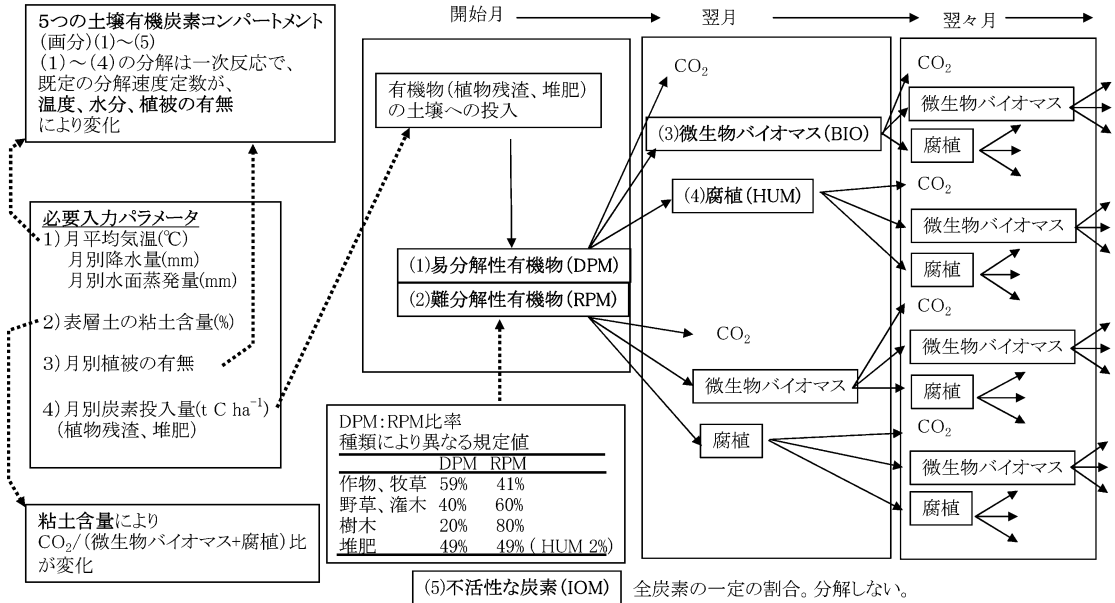


図-1 ローザムステッド・カーボン・モデル (RothC) の構造, 入力パラメータなどの概要

DNDC ではモデル中の作物生長サブモデルが作物の生長を適切にシミュレートできなかったため、既定値として定められている作物生長のパラメータを作物生長が実測に適合するように調整したうえで、SOCの経年変化に対するモデルの適合精度を検証した。その結果、5ヶ所の全ての処理区において、SOC変化のモデル計算値は、ほぼ実測と精度良く一致し、DNDCが水田における長期間のSOC経年変化を精度良く計算できることが明らかになった(図-4)。しかし、作物生長パラメータの調整が必要であることなどの問題点も明らかになった(Shirato, 2005)。

より簡便な RothC が水田にも適用できれば有用であるため、本来は畑が対象の RothC を、同じ 5ヶ所の連用水田のデータで検証した。現行の RothC による計算値は、予想通り実測値を下回った。稲作期間中に土壌が湛水され嫌気的になるために有機物の分解が遅くなる他、畑と水田における土壌微生物組成の違いのため湛水期間に限らず有機物分解が阻害されることも考えられるため、湛水状態になる水稲作付け期間と、畑状態になる水稲非作付け期間に分けて、それぞれ別に RothC の分解率を変えたさまざまな組み合わせで計算を行った結果、湛水期間では現行モデルに対して分解率を 0.2 倍、非湛水期間では 0.6 倍に設定した場合に、モデルと実測が最も良く一致した。この簡単な分解率調整による改良モデルの精度は現行 RothC に比べて大幅に改善した(図5)た

め、少なくとも日本の水田においては、この改良モデルが適用可能であると結論した(Shirato and Yokozawa, 2005)。

#### 4. 考 察

日本の非黒ボク土畑では RothC を現行のまま全くキャリブレーション無しで適用したにもかかわらず高い精度が得られた。RothC は既存のモデルの中でも単純なものであり、土壌特性に関するパラメータとしては粘土含量だけが採用されている。つまり、同じ粘土含量で同じ気象条件の下では、同じ有機物の添加量が与えられると同じ SOC 蓄積量になることを意味する。複雑に見える土壌有機物の蓄積・分解過程がこのような単純なモデルであらわされ、広範な地域で共通に使えるというのは、驚くべき結果であるが、土壌炭素の蓄積・分解に影響を与える重要な因子には、温度・水分・土性などの、全ての土壌である程度普遍的なものがあると思われることができる。

黒ボク土では、ピロリン酸塩可溶アルミニウム量を新たな入力パラメータとして取り入れることにより有機物集積のメカニズムを反映するかたちで改良を行い、RothC の精度を大幅に向上させることに成功した。また、水田では畑に比べて有機物の分解が遅いとの考えに基づき湛水期間と非湛水期間に分けて現行モデルの分解率を調整することでモデルを改良し、満足な精度が得られた。普遍

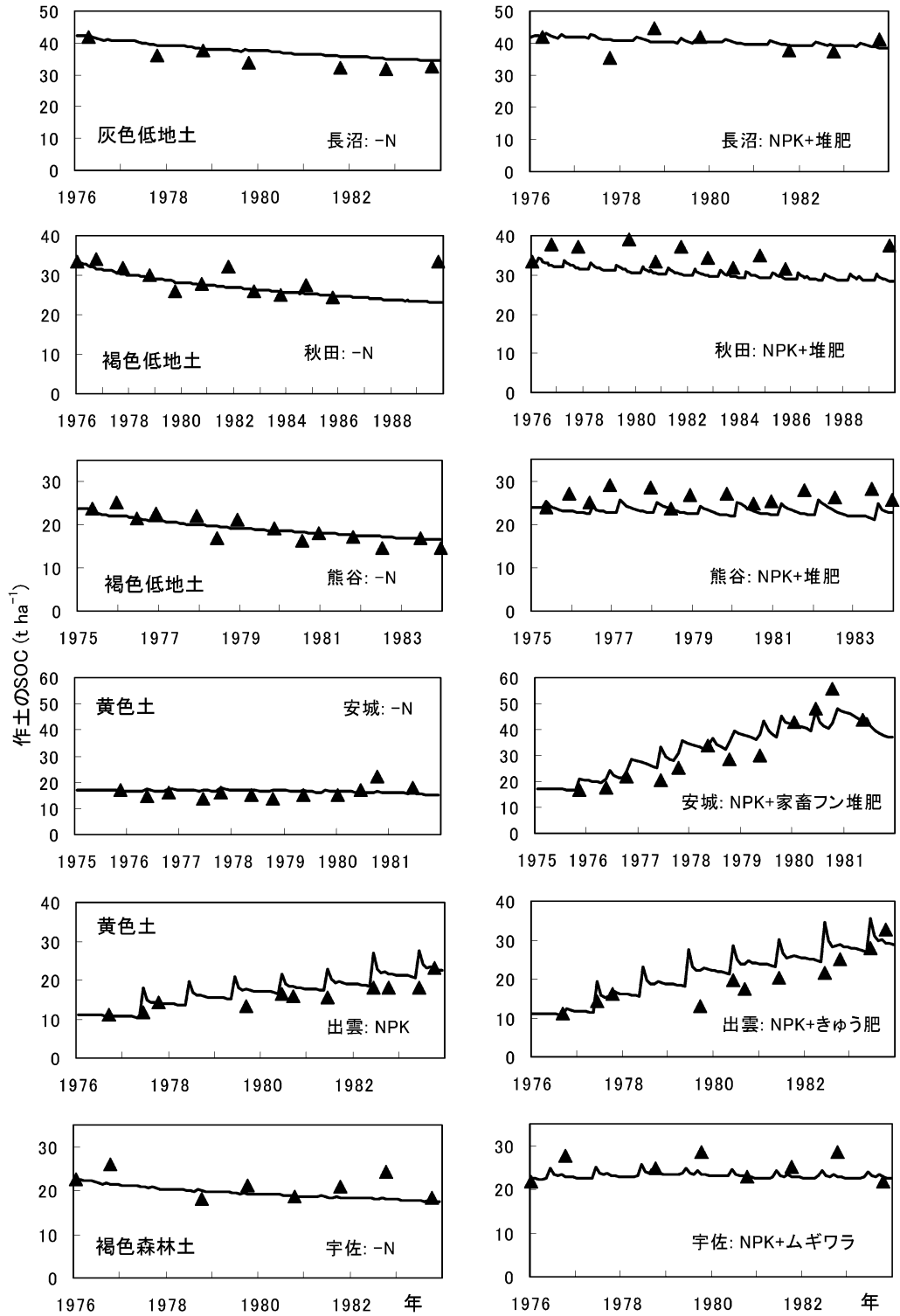


図-2 日本の非黒ボク土畑の6ヶ所の連用試験地におけるSOCの実測値(▲)とモデル計算値(—)の経年変化。

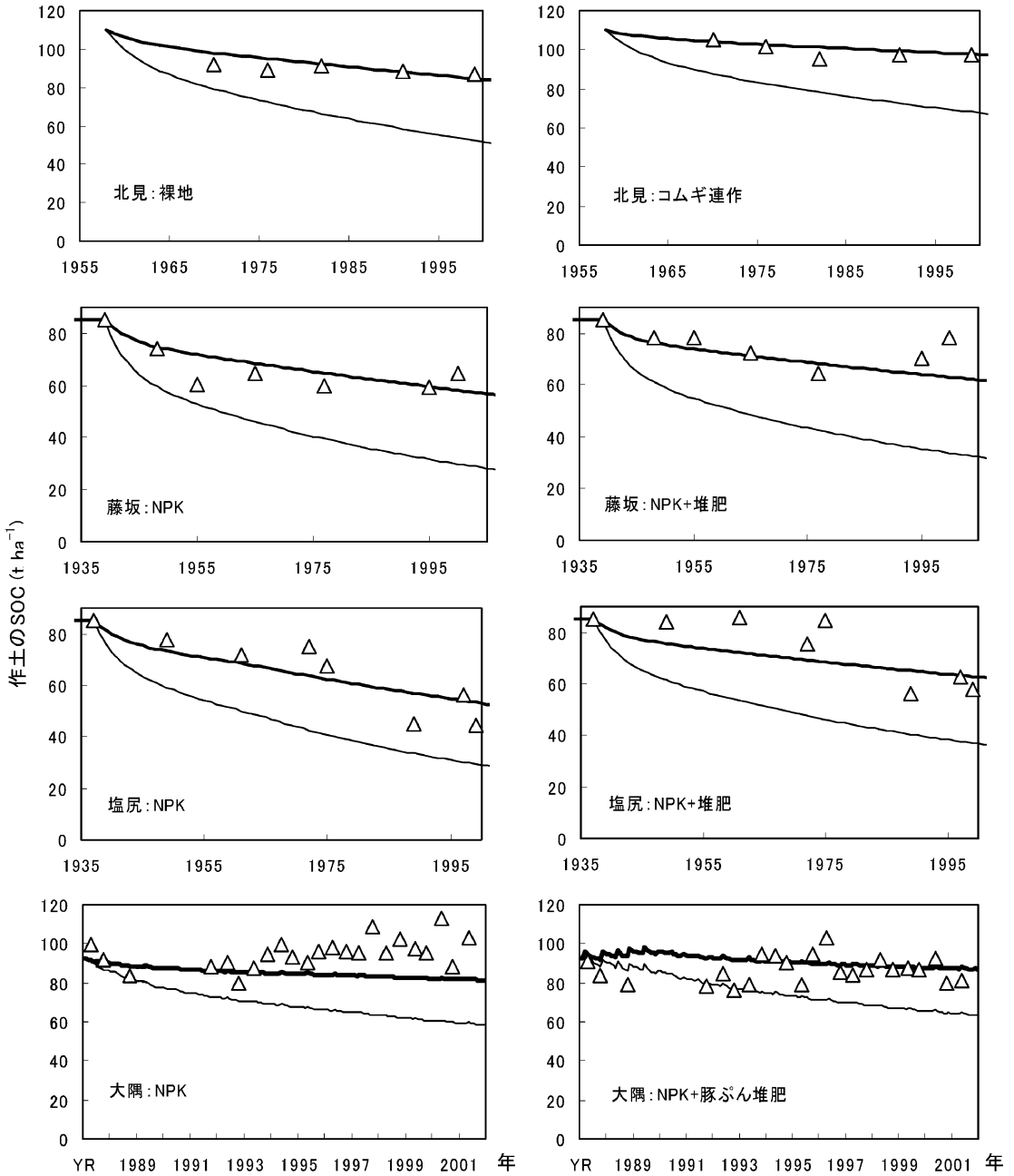


図-3 日本の黒ボク土畑の4ヶ所の連用試験地におけるSOCの実測値(△)とRothCによるモデル計算値(細線:現行モデル,太線:改良モデル)の経年変化。

的な重要因子に加えて、土壌タイプに特異的な重要因子もあると考えることができ、それらの因子を見出して取り入れることでモデルの精度を向上させることができる。

### 5. おわりに

モデルの検証や改良の結果は、気候変動や農法の変化などに伴うSOC経年変化の「予測の道具」としての信

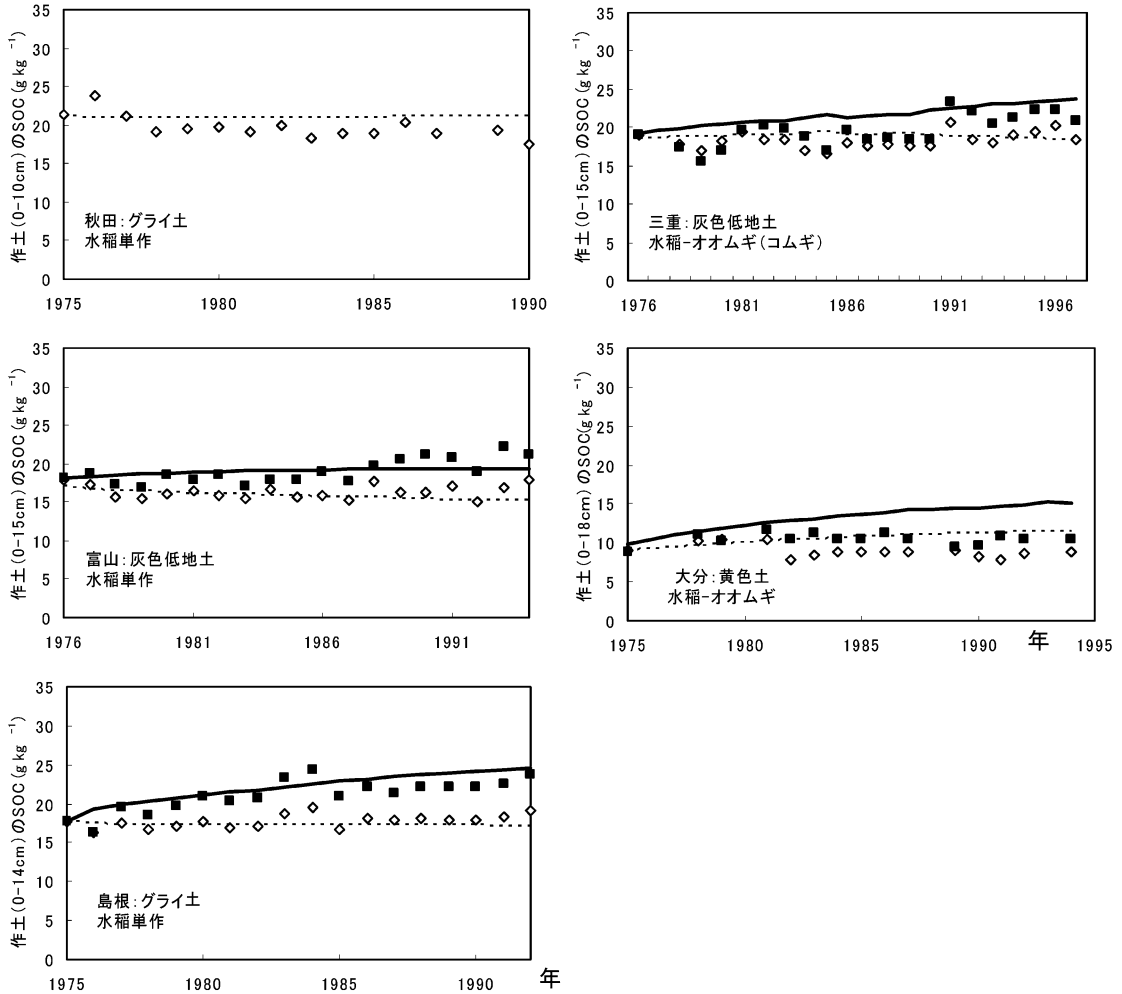


図-4 日本の5ヶ所の長期連用水田における作物生長が実測と適合するように作物生長パラメータを改良した場合のDNDCによるSOC経年変化の計算値と実測値の比較。◇：NPK区実測値，■：NPK+イナワラ区実測値，点線：NPK区モデル計算値：実線：NPK+イナワラ区モデル計算値。

頼性向上に寄与する。一方で、モデルは単なる予測の道具でなく、現象の重要な因子をとらえることにより「メカニズム理解」に役立つという「研究の道具」であることも認識されるべきであると考えらる。

### 引用文献

Coleman, K. and Jenkinson, D.S. (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, ed. D.S. Powlson *et al.*, pp. 237-246, Springer, Berlin.

Li, C., Frolking, S. and Frolking, T.A. (1992) : A model

of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events : 1. Model structure and sensitivity. *J. Geophys. Res.*, **97** : 9759-9776.

McGill, W.B. (1996) : Review and classification of ten soil organic matter (SOM) models. *In* : Evaluation of Soil Organic Matter Models, Using Existing Long-Term Datasets, ed. D.S. Powlson *et al.*, pp. 111-132, Springer, Berlin.

Shirato, Y. (2005) : Testing the suitability of the DNDC model for simulating long-term soil organic carbon dynamics in Japanese paddy soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51** : 191-200.

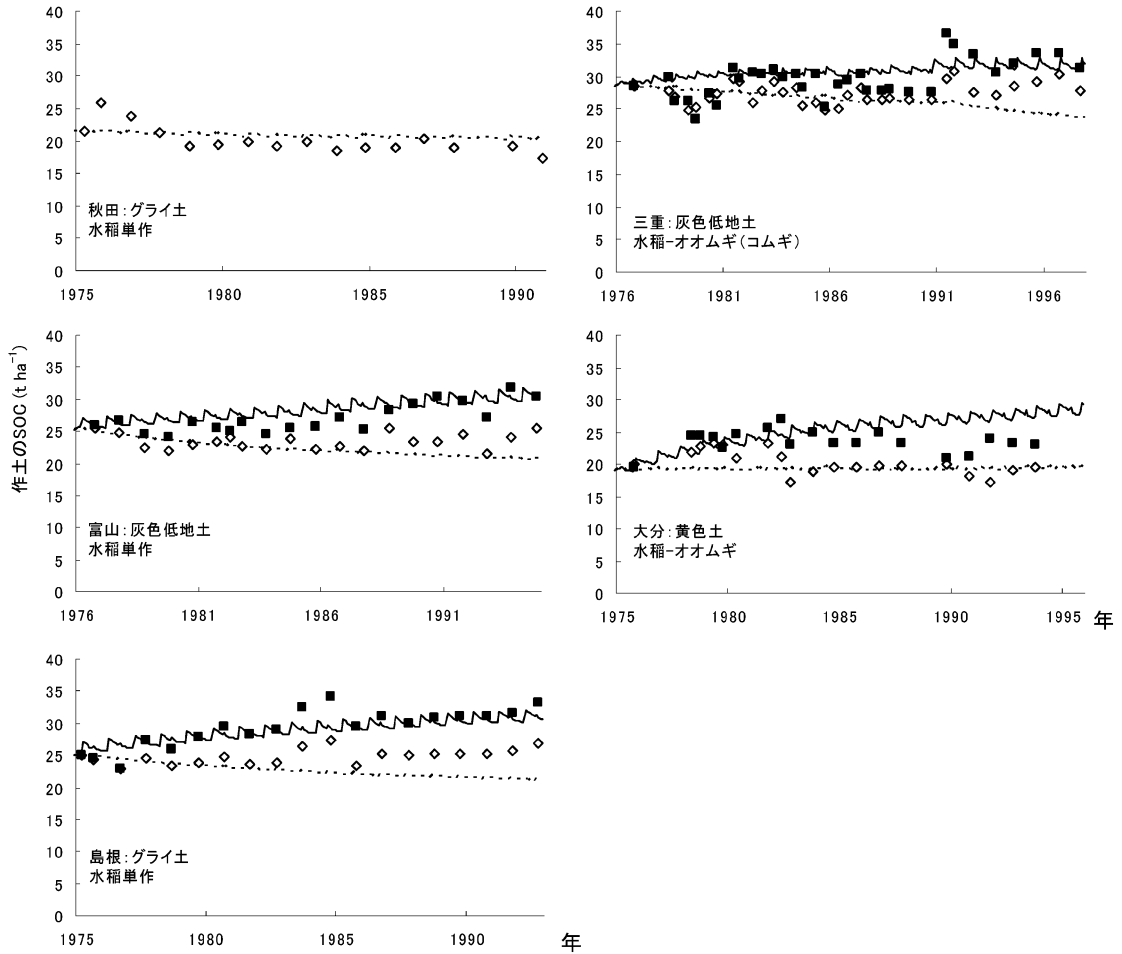


図-5 日本の5ヶ所の長期連用水田における改良 RothC による SOC 経年変化の計算値と実測値の比較。改良モデルでは、現行の RothC における有機炭素の分解率は夏季（水稲生育期間）は0.2倍、冬季（水稲非生育期間）は0.6倍に変化させた。◇：NPK区実測値，■：NPK+イナワラ区実測値，点線：NPK区モデル計算値；実線：NPK+イナワラ区モデル計算値

- Shirato, Y., Hakamata, T. and Taniyama, I. (2004): Modified Rothamsted carbon model for Andosols and its validation: changing humus decomposition rate constant with pyrophosphate-extractable Al. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**: 149-158.
- Shirato, Y. and Taniyama, I. (2003): Testing the suitability of the Rothamsted carbon model for long-term experiments on Japanese non-volcanic up-

- land soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **49**: 921-925.
- Shirato, Y. and Yokozawa, M. (2005): Applying the Rothamsted Carbon Model for long-term experiments on Japanese paddy soils and modifying it with simple tuning of decomposition rate. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**: 405-415.
- Shoji, S., Nanzyo, M. and Dahlgren, R.A. (1993): *Volcanic Ash Soils*, p. 263, Elsevier, Amsterdam.

## 要 旨

日本の農耕地における長期連用試験データを用いて、RothCなどの既存の土壌有機物動態モデルの妥当性を検証し、現行のモデルの適用可能範囲を明らかにするとともに、現行モデルが適用できない黒ボク土と水田土壌向けの改良モデルを提案した。土壌炭素の蓄積・分解に影響を与える重要な因子には、温度・水分・土性などの、全ての土壌である程度普遍的なものがあると理解できる。一方、黒ボク土や水田など、土壌タイプに特異的な重要因子があると考えることができ、それらの因子を取り入れることでモデルの精度を向上させることができる。

受稿年月日：2006年10月19日

受理年月日：2006年11月10日

**白戸康人氏講演に関する質疑****質問：**

ローザムステットモデルの土層の深さのパラメータは場所や年によって変えられるのか？

**回答：**

深さは場所によって変えられるが、年によって変えることはできない。

**質問：**

モデル内で投入窒素を堆肥由来と作物残渣由来に分けられるか？

**回答：**

分けられるが、堆肥の種類は 1 種類のみで、日本のようにたくさんの堆肥の種類がある場合には別途検討が必要かもしれない。