



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	物質循環・動態（第1部門 土壌物理）
Author(s)	加藤, 英孝; 久保寺, 秀夫; 中原, 治
Citation	日本土壌肥科学雑誌, 79(6), 521-533
Issue Date	2008-12-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/66281
Type	journal article
File Information	79_6_521_533_Katoh_EF02S010PreviewPDF.pdf



第1部門 土 壤 物 理

物質循環・動態

加藤英孝¹・中原 治²・久保寺秀夫³

1. 土壌中の水分・熱移動と溶質移動

1) 水分・熱移動

貫入硬度計と TDR 土壌水分計を組み合わせた装置の開発 (小杉ら, 2004) と改良 (山川ら, 2007) が行われた。TDR による砂丘砂の体積含水率の測定値は, 電気伝導度に比べて直接採取による測定値との一致がよく, 塩類濃度の影響も受けなかった (Dehghanisanij *et al.*, 2004)。黒ボク土でも塩類濃度は TDR 水分測定値に影響しなかった (宮本ら, 2004)。塩類濃度の高い土壌における ADR 水分センサーと 4 極塩分センサーの校正方法が検討された (坂口ら, 2004b)。拡張した誘電混合モデルにより, 団粒化した黒ボク土の体積含水率と比誘電率の関係の記述が試みられた (Miyamoto *et al.*, 2005a)。カラム内壁面接着型 TDR プローブは, カラム材質の影響のために比誘電率を過小評価する。その影響の誘電混合モデルによる補正が試みられた (宮本・筑紫, 2006)。

TDR と NMR により測定した凍土中の不凍水量は, 初期含水率が高いほど多かった (Suzuki, 2004a)。中国内モンゴで TDR による不凍水量の測定と土壌凍結過程の解析が行われた。凍結土層は地温 -1.2°C から -2.1°C を境界として完全凍結層と部分凍結層に分かれた。凍結が進むにつれて完全凍結層が下方に拡大した (Wang and Akai, 2004)。凍結土壌中の水分・熱移動の記述モデルが開発された (Hansson *et al.*, 2004)。凝固点降下法により求めた土壌水分特性曲線は, 加圧板法, サイクロメータ法と蒸気圧法を組み合わせたものとよく一致した (Suzuki, 2004b)。

多機能型ヒートパルスプローブによる土壌の熱拡散率と水フラックスの同時測定が試みられた (Mori *et al.*, 2005b)。マルチステップ法による, 低水分土壌の吸水過程での不飽和透水係数の測定法が開発された (Fujimaki *et al.*, 2004)。表計算ソフトを使った, 水浸潤実験結果の逆解析による土壌の水理学的特性の推定が試みられた (登尾, 2004)。黒ボク土についてプロファイル水分計の校正が行われた (井本ら, 2006)。プロファイル水分計を用いて土壌断面内体積含水率分布を測定し, 内部排水法と単位勾配法による不飽和透水係数の原位置測定が試みられた (井上ら, 2004)。傾斜地での負圧浸入計・二重リング浸入計による土壌の水理学的性質の測定値に対する勾配の影響

は小さかった (Bodhinayake *et al.*, 2004)。ゲルフ式井戸浸入計による原位置透水試験の精度と効率性が検討された (Morii *et al.*, 2004)。吸引圧を時折手動調整する多孔質板テンションライシメータを用いて, 森林土壌中の下向き水移動量が測定された (釣田ら, 2005)。

粘土/砂混合物の透水係数に対する吸着陽イオン種と塩濃度の影響が調べられた (Aydin *et al.*, 2004)。微生物増殖に起因する目詰まりによる透水性低下の温度依存性が砂カラム試験により調べられた (関ら, 2005)。土壌水分特性曲線の測定値から水分特性パラメータを求めるための非線形回帰プログラムが発表された (関, 2007)。Gardner-Campbell モデルによる近飽和状態の土壌の透水係数の予測が試みられた (Kawamoto *et al.*, 2006a)。非相似モデルを用いて, かさ密度の異なる畑圃場下層土の飽和透水係数の予測が試みられた (Nakano and Miyazaki, 2005)。周期的水分供給に伴うゼロフラックス面の挙動がカラム実験と数値実験により解析された (Khalil *et al.*, 2006)。

乾いた粒状多孔質体には動的水侵入圧が存在し, 水で飽和した浸潤前線とその上部に体積含水率の低下した領域が形成されることが実験的・理論的に明らかにされた。この現象とフィンガー流発生との関係が論じられた (Shiozawa and Fujimaki, 2004)。ガラスビーズおよび海砂カラムで動的水侵入圧が測定された (Annaka and Hanayama, 2005)。フィンガー流形成前後のカラム内圧力水頭の時間変化を表す式が導かれた (Cho *et al.*, 2005)。乾いた成層ガラスビーズカラムへの浸入過程でのフィンガー内部の圧力分布はこのモデルによる計算値とよく一致した (Annaka and Hanayama, 2007)。水平方向に拡大しつつあるフィンガー内部の水分移動が調べられた (Kawamoto *et al.*, 2004)。撥水性の指標としての水滴浸入時間, みかけの接触角等の有効性が比較検討された (安中, 2006)。みかけの接触角が降雨浸潤時のフィンガー流の形状に及ぼす影響が調べられた (安中・川島, 2006)。火山灰土壌の有機物含量と初期含水率が撥水性に及ぼす影響が調べられた (川本・Banyar, 2004; Kawamoto *et al.*, 2007)。TDR コイルプローブを用いて撥水性火山灰土壌の保水性が測定された (川本ら, 2004)。砂壤土・黒ボク土充填土壌とも, 不完全飽和では最大で $0.1\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ の封入空気を含み, 気相率が同じなら, その透水係数は封入空気を含まない不飽和透水係数より小さかった (Sakaguchi *et al.*, 2005)。

不飽和成層土壌では, 毛管力のために土層境界が水の下方移動の障壁となることがある。この障壁を超えて水が下層に侵入するための物理的条件が検討された (小島・宮崎, 2004)。耕盤層を有する不飽和成層斜面への降雨浸潤実験から, 斜面における表面飽和形成過程が解析された (Deb *et al.*, 2006)。地下排水に対する耕耘の影響がカラム実験

¹ 農業環境技術研究所

² 北海道大学大学院農学研究院

³ 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
日本土壌肥科学雑誌 第 79 巻 第 6 号 p.521~533 (2008)

で調べられた (Moroizumi and Horino, 2004). ゴルフ場グリーンの透水性は砂利層上の砂層が厚いほど大きく、経年的に低下した (真行寺・加藤, 2004). 森林土壌の孔隙特性と雨水の鉛直浸透、撥水性による表面流出の発生、パイプ流・基岩浸透などの斜面水文過程が解説された (小杉, 2005).

乾燥地における降雨浸透過程と不圧地下水蒸発過程での水分動態が検討された (劉ら, 2004a). 凍土中では温度低下に伴って不飽和透水係数の減少がみられた (劉ら, 2004b). 土壌水分モデルを組み込んだ分布型流出モデルが開発され、滋賀県大戸川流域を対象にその妥当性が検証された (Alam *et al.*, 2006). トレンチ灌漑による泥炭地の地下水位維持効果が定常モデルにより評価された (Iiyama *et al.*, 2005). 奄美地域のサトウキビ畑の水収支が調査された (加治, 2006).

固相・気相からなるガラスビーズと土壌の熱伝導率が減圧下で測定された. 熱伝導の面では粒団内間隙は固相の一部として扱えることが示唆された (Momose and Kasubuchi, 2004). 砂-カオリン混合物とは異なり、低水分状態での砂の熱伝導率は温度が上昇するにつれて低下した (Sakaguchi *et al.*, 2007). シリンダーに充填した土壌を恒温水槽に浸し、中心部の温度変化から土壌の熱拡散係数を測定する方法が紹介された (登尾ら, 2005a). 土壌の熱伝導率が温度・塩類濃度依存性を示す原因は潜熱成分にあるとして、NaCl 濃度の異なる非膨潤性粘土中の水蒸気潜熱輸送が解析された (坂口ら, 2004a). 炉乾したマサ土、黒ボク土および赤黄色土への浸潤過程では、湿潤熱のために最大でそれぞれ 2.3°C, 21.6°C および 5.8°C の温度上昇がみられた (赤江ら, 2007). イネ植生は日射のスペクトル変化を通じて、田面水の水面温度を湛水下の土壌表面温度に比べて高め、対流を抑制した (Hanayama *et al.*, 2006). 気象条件の異なる数地点で、水稻栽培期間中の気温および水田作土の地温変化が調査された (森次ら, 2006).

2) 溶質移動

吸引板直上のマトリックポテンシャルが土壌水のそれに追随するよう、吸引時間を自動制御するライシメータが開発された (Kosugi and Katsuyama, 2004). 吸引圧自動制御による浸透水採取装置が改良され、砂質土壌での施肥成分溶脱量測定に応用された (Higashi *et al.*, 2005; 東ら, 2005). 塩水灌漑下の砂質土壌断面内の塩類集積過程の調査 (坂口ら, 2005), 塩水を用いた地中灌漑法の改良 (山崎ら, 2007) が行われた. 塩類濃度の高い土壌では、表面に形成された塩類クラストのために蒸発速度の低下がみられる. 水蒸気移動に対する塩類クラストの抵抗を考慮したモデルによる蒸発速度の予測値と実測値が比較された (Fujimaki *et al.*, 2006). 土壌に鉛直に挿入した TDR を使った溶質の遅延係数と分散係数の測定 (登尾ら, 2005b), 圃場における TDR による溶質移動の測定 (Noborio *et al.*, 2006) が行われた. 窒素溶脱に対する

分施の影響がカラム実験とモデル計算により検討された (Nakamura *et al.*, 2004). 不攪乱土壌を埋設した室内ライシメータが紹介された (Takamatsu *et al.*, 2007).

変異荷電性の酸性下層土中のイオン移動が解説された (Qafoku *et al.*, 2005). アロフェン質黒ボク土に pH 3 の HCl 溶液, HNO₃ 溶液を浸透させると土壌粒子が分散し、透水性が著しく低下したのに対し、H₂SO₄ 溶液では SO₄²⁻ が強く吸着され、透水性は低下しなかった (Ishiguro, 2005). 不飽和土壌に水を浸入させると、浸入前に吸着平衡にあった土壌溶液が集積する部分の溶質含量と水分含量の関係から、溶質の液相中濃度と吸着量を求められる. この方法により、黒ボク土下層土による NO₃⁻ と Cl⁻ の競争吸着等温線 (Katou, 2004), 親水性が強い 2 種の有機化合物ジクロロボスおよびモノクロトフォスの砂質土壌による吸着 (Ahmad *et al.*, 2005) が測定された. 牛ふんコンポストを多量に表面施用した褐色低地土カラムでは、溶存・分散状態の有機物と K⁺ のために透水速度が著しく低下した. 非アロフェン質黒ボク土カラムでは Ca²⁺ → K⁺ のイオン交換が進みにくく、透水性低下は認められなかった (南條・山田, 2005).

黒ボク土畑圃場の深さ 1 m を通過する水移動はマトリクスを通じた Darcy 流が主体で、選択流は年に数回、大雨時にのみ生じた. NO₃⁻ はそのほぼ半分が吸着されていたにもかかわらず、水移動に対する遅延がみられなかった (江口, 2006). 多積雪地域の黒ボク土畑圃場での Br⁻ を用いたトレーサー試験では、融雪期に下層土マトリクスを迂回したバイパス流が生じた (青木・長谷川, 2007). 黒ボク土不耕起草地への染料水浸入実験でも、透水性の低い耕盤と根跡孔隙のためにプレファレンシャル流が生じた (Miyamoto *et al.*, 2005b). サトウキビ不耕起栽培圃場では、耕起圃場に比べて表層土の飽和近傍での透水係数および深さ 40 cm までの NO₃⁻ 溶脱フラックスが大きかった (朝田ら, 2006). 不攪乱黒ボク土中の溶質分散が飽和・不飽和両条件下で調べられた (徳本ら, 2007). 不飽和ガラスビーズカラム中の溶質分散に対する粒径の均一性の影響が調べられた (家田・塩沢, 2004). 溶質の相対拡散係数を体積含水率とマトリックポテンシャルに関係づけるモデルが提出された (Moldrup *et al.*, 2007). 多孔質体中のコロイド粒子の移動・捕捉に対する分散安定性と間隙径の影響が鹿沼土カラムを使って検討された (山下・足立, 2004, 2006). 土壌中の汚染物質の挙動と浄化工法に関する解説が発表された (小松・Moldrup, 2005). 土壌中の水分・熱・溶質移動モデルが HYDRUS を中心に詳説された (斎藤ら, 2006; 取出ら, 2006; 中村・取出, 2007; 渡辺ら, 2007; 坂井・取出, 2007a, 2007b; 斎藤ら, 2007).

2. 土壌中の物質動態

1) 炭素動態

水田生態系の炭素循環が施用有機物と植物遺体の分解、溶存無機・有機炭素の下方浸透、CO₂ と CH₄ の行方などの点から解説された (Kimura *et al.*, 2004). 水田田面水中

の溶存有機物および疎水性画分濃度は灌漑水に比べて高く、土壌浸透により低下した（人見ら, 2007）。水田作土直下の浸透水中の無機態炭素および溶存有機炭素（DOC）濃度は暗渠流出水に比べて高く、溶脱したCa, Mg, K, FeおよびMnは大部分が下層土に保持された（Katoh *et al.*, 2004a）。これらの溶存物質の移動過程がカラム実験により調べられた（Katoh *et al.*, 2004b）。水田作土浸透水中のDOCに占めるフルボ酸の割合は時期的に変化し、湛水後期のDOC濃度とFe(II)濃度の間には正の相関があった（Maie *et al.*, 2004）。水田土壌では光合成産物の一部が速やかに水抽出性有機炭素に取り込まれ、その一部は徐々に塩抽出性有機炭素に変換された（Lu *et al.*, 2004）。高CO₂濃度条件下で植物由来有機物の土壌への供給が増加すると、土壌有機物の分解速度には低下がみられた（Li and Yagi, 2004）。泥炭地用リターバッグ埋設により、断面内の異なる深さでのセルロース濾紙、ミズゴケおよび松材の分解速度が測定された（石田ら, 2005a）。

黒ボク土畑の深さ別土壌炭素含量に対する耕起法と有機物管理の影響が調べられた（古賀, 2007）。-100 MPaの低水分状態でも土壌中の炭素分解は進み、分解には微細間隙中に保持された水分が関わりとされた（Suetsugu *et al.*, 2004）。基質添加後の団粒中土壌炭素の分解速度は、-20 kPaの減圧条件下で最大になった（武藤ら, 2004）。土壌呼吸と栄養塩類溶脱に対するオオフォルソムトビムシの影響が調査された（金田・金子, 2006）。丹沢山地の落葉広葉樹林表層土壌では森林衰退初期にヒューミン量が、後期に腐植酸・フルボ酸量が減少し、全糖量には明瞭な変化がなかった（Ohse *et al.*, 2005）。日本の森林土壌中の有機炭素賦存量が土壌類型別に推計された（Morisada *et al.*, 2004）。

シベリア永久凍土地帯では高緯度ほど河川水のDOC濃度とDOC中の疎水性画分の割合が高く、溶存有機物の生分解性は小さかった（Kawahigashi *et al.*, 2004）。同地帯の無機質土層によるDOCの収着特性が調べられた（Kawahigashi *et al.*, 2006）。カザフスタン北部チュルノーゼム地域の穀物栽培における土壌呼吸と地温・土壌水分含量の解析、土壌有機物収支の調査が行われた（Funakawa *et al.*, 2004a, 2004b）。また、土壌水分含量と有機物動態の空間変動（Yanai *et al.*, 2005）および土地利用が土壌炭素動態に与える影響（Takata *et al.*, 2007a）の解析、地形・植生情報を用いた土壌有機物賦存量の空間的分布の予測（Takata *et al.*, 2007b）が行われた。

¹³C自然存在比の測定により、フィリピンの森林とサトウキビ畑の土壌有機炭素の代謝回転速度（Yoneyama *et al.*, 2004）、タイの林地・農地の土壌有機炭素の代謝回転に対する植生と作物栽培の影響（Yoneyama *et al.*, 2006）、中国東北部のトウモロコシ・ダイズ連作圃場の土壌有機物動態（Wang *et al.*, 2006）が解析された。“緑の革命”がジャワ島の水田土壌断面内の全炭素、全窒素、可給態リン酸、交換性陽イオン含量等に及ぼした影響が調査された

（Darmawan *et al.*, 2006a, 2006b）。タイ国パチョ地方の熱帯泥炭の体積が地質統計学的方法により推定された（Saito *et al.*, 2005）。

土壌有機炭素動態モデルの日本の農耕地土壌への適用と改良が試みられた（白戸, 2007）。ロザムステッド炭素モデル（RothC）の腐植画分の分解率をピロリン酸塩可溶Al含量の関数とすれば、黒ボク土長期連用試験畑圃場の土壌有機炭素含量の長期変化が再現された（Shirato *et al.*, 2004）。タイの畑土壌では、RothCは有機物多量連用区の土壌有機炭素含量を過大に見積もった（Shirato *et al.*, 2005a）。土壌有機炭素の分解率を湛水・非湛水期間で変えれば、RothCモデルは水田土壌にも適用できた（Shirato and Yokozawa, 2005）。同モデルの分解性の異なる2つの植物遺体プールは、5 N H₂SO₄加水分解性画分とそれ以外の画分に対応した（Shirato and Yokozawa, 2006）。作物生長パラメータを調整すれば、水田土壌の長期有機炭素動態はDNDCモデルでも予測できた（Shirato, 2005）。

2) 窒素動態

土壌中の窒素動態の土壌類型による違いと有機質資材施用の影響（西尾, 2006a）、微生物代謝プロセスに基づく窒素動態モデルの現状と課題（西尾, 2007）が解説された。凍結・融解が土壌の有機物分解能と硝化能に与える影響が調べられた（Yanai *et al.*, 2004a, 2004b）。牛糞堆肥・乾燥豚糞堆肥を施用した畑土壌の脱窒速度とCO₂発生速度の関係が解析された（西尾, 2006b）。脱窒速度に対する土壌の採取深さ、気相率と乾燥豚糞施用の影響が調べられた（井上・西尾, 2006）。黒ボク土畑への有機物連用は作土の溶存有機炭素含量と脱窒酵素活性を上昇させたものの、1 m以深の下層土には影響がなかった（Kamewada, 2007）。地質層序既知の火砕流台地で全炭素・全窒素含量、NO₃⁻含量と脱窒活性の鉛直分布が調査された。深さ44~55 mのシラス層とその下方の難透水層に高い脱窒活性がみられた（Hashimoto *et al.*, 2005）。

小型反射型光度計RQ-flexによる地下水中NO₃⁻濃度測定に対する温度の影響が検討された（池田, 2005）。類型の異なる畑土壌で、窒素収支と土壌溶液中NO₃⁻濃度に対する有機質資材・化学肥料併用の影響が検討された（西尾・三浦, 2004；三浦・西尾, 2004）。黒ボク土充填ライシメータで、オーチャードグラス単播草地における施用¹⁵Nの動態が調査された（松波ら, 2005）。有機物を多量施用した茶園表層土壌には多量の水抽出性有機態窒素が存在し、一部は下方溶脱しうることがカラム実験で確かめられた（三浦・阿江, 2005a, 2005b）。施設栽培転換畑では、堆肥施用による下層土への難分解性窒素の集積が報告された（藤田・古川, 2005）。

水田灌漑水に高濃度で含まれるNO₃⁻の約90%が脱窒で失われたと報告された（Kyaw *et al.*, 2005）。NO₃⁻濃度の高い灌漑水を通年湛水した水田では、冬期にも浸透水中のNO₃⁻の除去が見られた（新良・渥美, 2007）。水稻作付および無植生水田で灌漑水中のNO₃⁻の流下過程にお

る濃度低下が解析された (田渕ら, 2005a, 2005b). 地下水中の NO_3^- 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 値および下層土の脱窒活性の測定から, 茶園-水田土地利用連鎖系の水田下層土で脱窒が起きていることが明らかにされた (恒川ら, 2006). 茶園から溶脱した NO_3^- が砂層を通じて隣接水田作土に直接流入し, 窒素過剰を引き起こした例が報告された (今井ら, 2006). 台地上畑から低地水田に続く地形連鎖系集水域では, 流出水の 61% は水田を経ずに浸透流出していることが物理モデルによる浅層地下水流動の解析から推定された (飯山ら, 2007).

関東地方のアカマツ林で林床に添加した $^{15}\text{NH}_4^+$ の動態が解析された. 大気降水物や硝化反応によって負荷された H^+ は, 土壌からの塩基の供給により完全に中和されていた (若松ら, 2004a, 2004b). 形態の異なる窒素の微生物による有機化と植物による吸収が, ヒノキ林, スギ林および落葉広葉樹林土壌で比較された (Inagaki and Kohzu, 2005).

3) リンの動態

下層土に亀裂の発達した転換畑ではリンの暗渠流出量が表面流出量を上回り, 暗渠流出リンの大部分が懸濁態であった (鈴木ら, 2005). 家畜ふん堆肥を連用した不耕起水田では, 耕起水田とは異なり, リン蓄積量の増加に応じて無機態リンの溶脱量が増加した (大家ら, 2007). 水田作土に局所施与されたリンの収穫跡地における鉛直・水平含量分布からは, 施肥リンの移動は認められなかった (赤羽ら, 2006). 土壌類型と耕起法の異なる水田作土内の全リン, 可給態リンおよび有機態リン含量の鉛直分布が調査された. 不耕起栽培圃場では可給態リンから有機態リンへの変換が認められた (Akahane *et al.*, 2006). 黒ボク土の森林はリン制限である可能性が指摘された (Koide *et al.*, 2005).

4) その他の物質の動態

福井豪雨で水田に流入した土壌は CEC および全窒素に占める可給態窒素の割合が大きく, 母材から供給されたとみられる易還元性 Mn に富んでいた (神田ら, 2006). マングローブ林内の水路に沿って表層堆積泥の理化学的・鉱物学的性質が調査され (Kinjo *et al.*, 2005), 微細粒子画分の分散・凝集沈降特性に対する塩濃度および有機物分解の影響が調べられた (金城ら, 2007). 下層に海成の還元型硫黄化合物を含む水田土壌断面内の水溶性 SO_4^{2-} 含量, Fe(II) および Fe(III) 含量, 硫黄酸化細菌・鉄酸化細菌数の鉛直分布が調査され, 還元型硫黄化合物の酸化過程が推定された (Ohba and Owa, 2005). 筑波台地上の林地, 畑地および水田で土層・地層中ヨウ素含量の鉛直分布が調査された (Yuita and Kihou, 2005). 水田灌漑期の深さ 0.2~0.5 m での土壌溶液中の I 濃度は非灌漑期に比べて著しく高く, I は土層内の酸化的部位に保持されていた (Yuita *et al.*, 2005, 2006). 水田田面水中の Si 濃度は水口からの距離とともに減少, Ca, Mg 濃度は増加する傾向があった (三枝ら, 2004). スギ林では O 層から供給される Ca^{2+} が鉱質

土層の酸性化を抑制していた (Baba *et al.*, 2004). 三宅島雄山の 2000 年噴火火山灰は強酸性で, 石膏を多量に含んでいた (Yoshinaga *et al.*, 2005).

日本の農耕地土壌の Cd その他の重金属汚染の歴史と現状 (小野・阿部, 2007), 客土による対策技術 (山田, 2007) が解説された. Se による土壌汚染と修復に関する総説が発表された (洲脇・岡崎, 2005). 開放浸透が生じると, 常時湛水でもすき床層が酸化的になるため, Cd 汚染土層が厚い水田では水稻による Cd 吸収量が増加することが明らかにされた (Sukthai ら, 2005). 土壌中の Pb の存在形態と移動性, 土壌への負荷に関する最近の研究動向が解説された (前島・川崎, 2006). 豚ふん堆肥連用土壌では Zn および Cu が蓄積する傾向にあり, 蓄積した Zn の主要形態は 0.1 M HCl 可溶性, Cu は同不溶性であった (Ogiyama *et al.*, 2005). 日本の森林は Pb と Cd のシンクであることが明らかにされた (Itoh *et al.*, 2005). ボルドー液を散布したリンゴ園土壌で Cu の蓄積と存在形態が調査された (井上ら, 2007). 中国上海市近郊の農耕地で, 土壌中の重金属含量と化学形態に対する下水灌漑の影響が調査された (Chen *et al.*, 2007). 土壌中元素濃度データベースおよび図化システムが開発され, Cs, Sr, Se の移動性の評価に用いられた (中丸ら, 2005). 日本のいくつかの土壌中の Ag, In, Sn, Sb, Bi の化学形態別含量 (Hou *et al.*, 2006) と移動性 (Hou *et al.*, 2005) が調査された.

3. 土壌ガスの生成・移動と放出

1) 測定法

密閉チャンバー方式による CO_2 , N_2O , CH_4 の同時連続測定システムが開発された (Nishimura *et al.*, 2005b). 密閉チャンバー法でガス濃度の時間変化を線形回帰すると, 求めたガスフラックスには無視できない誤差が含まれた (Nakano *et al.*, 2004). 地下水面下の泥炭土壌中に気相として存在するガスを採取するための装置が開発された. 泥炭地湿原では CH_4 の約 60% が気泡として存在し, 地下水面下のガスの 50% 以上を占めていた (常田ら, 2004; Tokida *et al.*, 2005b).

2) 土壌中のガス移動特性・移動モデル

孔隙径分布に 2 つのモードを持つ土壌の水分保持曲線, 透水・通気係数とガス拡散係数を記述するモデルが開発された (Poulsen *et al.*, 2006). 土壌中のガス拡散係数と通気係数の記述・予測モデルが詳細に検討された (Moldrup *et al.*, 2004, 2005a, 2005b, 2005c; 川本ら, 2005; Kawamoto *et al.*, 2006b, 2006c). 泥炭土壌は鉱質土壌に比べ, 気相率あたりのガス拡散係数の値が小さかった (Iiyama and Hasegawa, 2005; 飯山, 2006). 黒ボク土断面内の有機物含量と水分保持特性の異なる試料について, ガス拡散係数と通気係数が比較された (Resurreccion *et al.*, 2007b). ガス拡散係数に対する土壌のかさ密度の影響 (Fujikawa and Miyazaki, 2005), 黒ボク土畑圃場におけるガス拡散係数と通気係数の空間的変動 (Resurreccion *et al.*, 2007a) が調べられた. 畑・草地土壌表面での CO_2 フラックスの

時間的・空間的変動が調査された (藤川ら, 2007). 牧草地の CO_2 , CH_4 および N_2O フラックスの空間的変動が報告された (Katayanagi and Hatano, 2005).

3) 土壌中の動態と土壌からの放出

砂礫質水田下層土中の O_2 濃度の畦畔からの距離による減少は, O_2 消費速度一定とした拡散モデルにより記述された (小関ら, 2004). 硝化と脱窒の共同的過程による N_2O 発生に対する $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比の影響が調べられた (Yokoyama and Ohama, 2005). 省耕起栽培は CH_4 吸収, N_2O 放出をともに促進した (Koga *et al.*, 2004). 黒ボク土では硝化による N_2O 放出と NO 放出にトレードオフの関係があった (Ding *et al.*, 2007). 温室トマト栽培土壌からの NO と N_2O 放出には, 基肥後の長い放出ピークと灌水・追肥後の速やかなピークがみられた (Hosono *et al.*, 2006). 茶園からの N_2O 放出に対する土壌水分, 地温などの影響が検討された. 土壌 pH の低下は N_2O 放出を促進した (Tokuda and Hayatsu, 2004).

地下水位の高い黒ボク土の N_2O フラックスは施肥後より大雨後に大きかった (Kusa *et al.*, 2006). 水田の畑転換により N_2O 放出は4~5倍増加し, N_2O 生成は夏期に著しかった (Nishimura *et al.*, 2005a). 土壌の凍結・融解が脱窒活性に与える影響が調べられた (Yanai *et al.*, 2007b). 凍結土壌の融解期に大きな N_2O フラックスがみられた (Koga *et al.*, 2004).

火山灰草地ではシロクロバは土壌通気性の改善により CH_4 吸収を, 無機態窒素量の増加を通じて N_2O 放出を増加させた (Mori *et al.*, 2005a). 草地更新は N_2O 放出を促進した (Mori and Hojito, 2007). ふん尿スラリー連用草地の土壌有機物含量には長期的な変化がなく, 施用したふん尿の60%が大気に CO_2 として放出された (Nakamoto *et al.*, 2005).

水田作土を間断灌漑で pF 1.8 より低水分状態に保つと, CH_4 発生量が著しく減少した (後藤ら, 2004). 暗渠設置により CH_4 放出は著しく抑制された. 水稲作付期間中の放出量は湛水前土壌含水比と相関があった (Shiratori *et al.*, 2007). 水田土壌の CH_4 生成量を可給態窒素と全 Fe 含量から推定する経験式が提案された (Cheng *et al.*, 2007). 積雪寒冷地では冬期間の分解が遅いため, 水田への稲わら施用による CH_4 放出量の増加が著しかった (Naser *et al.*, 2007). 不耕起直播栽培を長期間継続すると, 土壌表層における稲わら集積による還元状態の発達と根の集中的分布のために CH_4 発生量が増加した (石橋ら, 2005). 不耕起乾田直播水田での N_2O 放出は, 主に非湛水期間の脱窒によるものであった (石橋ら, 2007).

^{13}C 同位体比を用いて, 落葉広葉樹林の土壌呼吸が根呼吸と土壌有機物・リター層分解呼吸に分けられた (Sakata *et al.*, 2007). 生態環境の異なる森林で CO_2 発生量が比較された. 土壌呼吸に占める根呼吸の割合は地温の低い地点で低かった (Shinjo *et al.*, 2006). 日本各地の森林土壌で CH_4 吸収および N_2O 放出速度が比較された. CH_4 吸収速度

は欧米の森林土壌に比べて大きい傾向があった (Morishita *et al.*, 2007). 水溶性 Al が森林土壌による CH_4 酸化を阻害することが明らかにされた (Tamai *et al.*, 2007). 窒素降下物が北海道の森林土壌による CH_4 吸収に与える影響が検討された (Morishita *et al.*, 2004). 氾濫原のヤチダモの幹表面から地下水由来の CH_4 が放出されていると推定された (Terazawa *et al.*, 2007).

泥炭地・湿原における有機物の蓄積と分解, CH_4 と N_2O の発生・放出が解説された (永田, 2006). 大気圧低下時の気泡噴出が泥炭地からの主要な CH_4 放出経路であることが明らかにされた (Tokida *et al.*, 2005a, 2007). カリマンタンの熱帯泥炭地で, 土地利用の違いが N_2O , CH_4 および CO_2 放出に与える影響 (Hadi *et al.*, 2005), 土地利用の違いと森林火災が N_2O 放出に与える影響 (Takakai *et al.*, 2006) が調査された. 同地域の畑地で観測された高い N_2O 放出 ($21\sim 259 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) には糸状菌群集の寄与が大きかった (Yanai *et al.*, 2007a). スマトラでは, 土地利用の違いが N_2O , CH_4 および CO_2 放出に与える影響 (Ishizuka *et al.*, 2005a), 熱帯雨林における放出量の空間的変動 (Ishizuka *et al.*, 2005b), 熱帯泥炭地の土地利用変化に伴う地下水位の変化の影響 (Furukawa *et al.*, 2005) が調査された. また, N_2O 生成に関わる微生物的過程の解析 (Nakajima *et al.*, 2005) および安定同位体比を用いた土壌有機物分解と CO_2 生成の解析 (Ueda *et al.*, 2005) が行われた. サラワクの熱帯泥炭では CH_4 および N_2O 放出量が測定された (Melling *et al.*, 2005a, 2005b, 2006, 2007). 西シベリアの泥炭森林で火災後の土壌一大気間メタン交換の経時変化が測定された (Nakano *et al.*, 2006). 熱帯と温帯の泥炭土壌からの CH_4 放出が比較して論じられた (Inubushi *et al.*, 2005).

4. 土壌侵食・土砂流出

USLE 式 (Universal Soil Loss Equation) の LS 値を高精度に推定し, 畦の影響を考慮することにより, 茨城県の平均土壌侵食量が $0.98 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定された. 土壌流亡による経済損失が, 河川の浚渫費用として試算された (小川ら, 2005). 四国の傾斜地圃場の土壌侵食速度は耕作放棄直後に約 $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ まで急増した後, 約 $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ に落ち着いた. 土壌侵食の推定式として, USLE 式に圃場外からの流入水の影響を組み込んだ HSLE 式 (Hilly-land Soil Loss Equation) が提案された (Yoshikawa *et al.*, 2004). 風化花崗岩地帯の崩壊地からの侵食土砂量は $1200 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ に達し, 土壌係数 $K = 0.105$ とした USLE 式で推定できると報告された (小林ら, 2004). 土壌侵食予測のためのプロセスモデル WEPP (Water Erosion Prediction Project) で用いる受食係数, 限界掃流力などのパラメータが黒ボク土について実験的に求められた. 黒ボク土傾斜畑では, WEPP は豪雨時のリル侵食量を過小評価する場合があった (小谷ら, 2007).

畑地では侵食が進むにつれて流亡土の平均粒径が増大し, 全窒素・全リンのバルク土壌と比べた相対的富化が小

さくなった(陳ら, 2004). 黒ボク土傾斜地の畝立てキャベツ畑では, 裸地に比べ土壌流出量が小さかった(塩野ら, 2004). 承水路設置によるマサ土圃場の土壌流出抑制効果が検討された(中尾, 2007). デジタルカメラによる降雨時の小規模土壌侵食のモニタリングが試みられた(森谷ら, 2006). 雨滴の衝撃が初期水分や粒団径の異なる土壌の表面クラスト形成に与える影響が調べられた(Asgedom and Hasegawa, 2005). 傾斜草地における降雨の浸透・流出と草地の土地保全機能が解説された(山本, 2004, 2005). また, 家畜による踏圧が表面流出と土壌侵食に及ぼす影響が調べられた(Pande and Yamamoto, 2006).

液性限界と懸濁液の粘性を考慮した水田からの土壌流出モデルが提案され, 代かき排水時の実測値と比較された(末継ら, 2006). 有機物施用履歴, 耕起法および類型の異なる土壌を供試して, 有機無機複合体が凝集沈降性に及ぼす影響が調べられた(Suetsugu *et al.*, 2005).

化学肥料中のリン成分は分散作用と凝集沈降抑制作用により沖縄の赤土微細粒子の沈積を妨げ, 沈砂池を長期にわたり懸濁させた(吉永ら, 2004). 小流域における土砂収支と土地利用の関係が解析された(大澤ら, 2004b). 赤土の流出予測にはUSLE式よりWEPP式の方が適用性が高かった(大澤ら, 2004a). 浮遊土砂の0.075 mm以上の画分は沈砂池でほとんどが捕捉された(仲村ら, 2007). ススキ束を用いた畝間部分マルチによる土砂流出防止効果が検討された(吉永ら, 2007). 石膏施用は国頭マージの分散性を高めて土壌流出を促進したのに対し, ポリアクリルアミドは土壌の浸透能を高めて流出を抑制した(Nishimura *et al.*, 2005c). ソバ植生とソバわらマルチによる土壌流出抑制が試みられた(塩野ら, 2007). 国頭マージの土壌侵食抑制には, 休閑期のムクナ栽培とソルガムの不耕起栽培が有効であった(Nagumo *et al.*, 2006). 石垣島の宮良川流域からの年間土壌流出量は侵食深にして0.2 mmであり, 農耕地投入窒素の19%, リンの4%が海洋に流出していた(坂西・中村, 2007). 石垣島の水田は, 降雨出水時に粒径0.1 mm前後の流入土粒子が水田内に沈積する一方, 粒径0.03 mm前後の土粒子が水田から流出し, 浮遊土砂の給源になっていた(松井ら, 2007).

植林された耕作放棄棚田では林齢とともに保水容量が増加し, 約30年経過すると山地のスギ・ヒノキ林とほぼ同程度になった(篠宮ら, 2004). 森林の択伐による渓流水の浮遊土量の増加と無機成分流出の原因が調査された(佐藤・寺澤, 2004). 植生回復途上にある森林流域では, 平均土壌深が大きい流域ほど土壌流出が抑制された(糸数ら, 2007). 群馬県吾妻川上流域の懸濁物質流出には, 流域の平均傾斜よりも森林率が強く影響していた(南波ら, 2007).

山地の河床堆積物の主な給源は, $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ 比が森林表層土と類似する流域では森林からの流出土壌, ^{137}Cs がほとんど存在しない流域では崩壊地からの流出土砂と推定された(加藤ら, 2005a). モンゴル半乾燥地における土壌

侵食量が ^{137}Cs 分析により推定された(西川ら, 2005). 中国黄土高原で原位置表面流出実験により, 表面流による土砂輸送量と土地利用の関係が調査された(張ら, 2004). 中国北部の半乾燥地でワラの格子状埋め込みと灌木植栽の風食・砂丘移動防止効果が検討された(Shirato *et al.*, 2005b).

5. 物質循環の広域評価と栄養塩の流出

1) 物質循環の広域評価

環境への窒素の総排出量のピークは1992年頃であり(織田, 2006), 窒素・リンの施用量は1985年に最大であったこと(Mishima *et al.*, 2006)が明らかにされた. 九州・沖縄各県における家畜ふん尿由来有機物の窒素換算流通量と圃場投入量が, 農林業センサスから推定された(橋本ら, 2004). 岩手県の農畜産物生産・消費に係わる窒素収支が推定された(平賀, 2004). 都道府県・市町村単位の窒素収支を算出するためのデータベースが解説された(三島ら, 2004). 窒素循環の広域評価について総説が発表された(木村ら, 2006). 北海道三笠市を対象として, 統計データをもとに窒素フローの長期変化が環境に与える影響が調査された(Kimura *et al.*, 2005). 同市幾春別川流域における異なる土地利用のエコバランス評価が行われた(Kimura *et al.*, 2007). 日本の食料・飼料供給に伴う窒素動態モデルに基づいて, 環境負荷の発生構造が解析された(三輪ら, 2006). 中国南西部の農村で窒素フローと環境負荷が調査された(Liang *et al.*, 2005).

わが国の農耕地への堆肥や生ふん尿の投入は草地飼料畑で局所的に行われており(森ら, 2007), 牧草・飼料作物による微量重金属吸収量は, 家畜ふん堆肥による投入量の2割程度(森ら, 2004)と推定された, わが国では化学肥料が農耕地へのCd負荷の主要因と推定された(Mishima *et al.*, 2004). わが国の農地における化学肥料・家畜ふん尿関連のZnおよびCu収支が推計された(Mishima *et al.*, 2005).

2) 農地からのアンモニア揮散

関東北部の集約畜産地帯周辺で窒素沈着の実態が調査された(寶示戸ら, 2006b). 大気中の平均 NH_3 濃度はふん尿施設から離れるほど低下し, 雨水の窒素濃度と相関があった(寶示戸ら, 2006a). 家畜ふん尿の処理方式別割合と発生量から, ふん尿窒素の約3~4割が揮散により失われると推定された(神山ら, 2006). 尿素を表面または全面施肥した灰色低地土ライシメータ水田からの NH_3 揮散率は, 最大でもアジアの測定事例の下限程度であった(Hayashi *et al.*, 2006). 黒ボク土からの NH_3 揮散に対する土壌pH, 温度および施用窒素の形態の影響が調べられた(笛木ら, 2007).

3) 農地からの栄養塩類の流出

集水域からの流出負荷量の推定法とその不確かさに関する解説が発表された(多田ら, 2006b). 下総台地の黒ボク土下層土中の NO_3^- の実態が調査された(八槇・安西, 2005). 河川水中濃度と流出水量および無機態窒素の収支

から、静岡県牧ノ原台地の茶園地帯からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量は年間 $100\sim 113\text{ Mg}$ 、灌漑期間中の水田による平均窒素除去は $2.3\text{ kg ha}^{-1}\text{ d}^{-1}$ と推定された (新良ら, 2005). サトイモ栽培地域で地下水の NO_3^- 汚染要因と地下水水質の年間変動が調査された (大森ら, 2004; 山口ら, 2006). 愛知県のため池の富栄養化の実態が調査され、透視度による簡易水質評価が試みられた (糟谷, 2006). 農業用ため池の窒素、リン、Si などの物質収支が調べられた (多田ら, 2006a). 施肥改善と水管理の適正化によるグライ土水田からの栄養塩類等の流出負荷削減効果が検討された (小林ら, 2005). 栃木県下の灰色低地土・多湿黒ボク土地域内多数地点での灌漑水、表面・暗渠流出水の調査結果によれば、流入濃度によらず水田が浄化能を有するのは窒素のみで、流出水中のリンおよび Si 濃度は土壌との平衡関係により決まり、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} および SO_4^{2-} は浸透流出量が流入量を上回った (宮崎ら, 2005).

北海道南西部の森林・農業流域からの窒素の主要流出形態は降雨流出時には懸濁態、融雪流出時には NO_3^- であり、融雪初期には河川水中濃度が一時的に高まった (岡澤ら, 2005a, 2005b). 河川水質評価に関連して、 NO_3^- 溶脱に対する土壌構造の影響、圃場・流域レベルでの NO_3^- 流出が解説された (波多野, 2005). 道央の水田流域で水田が河川水の窒素濃度に及ぼす影響が調べられた (Woli *et al.*, 2004). 湿原や河畔林は土壌の脱窒能が高く、草地主体集水域の河川水中 NO_3^- 濃度を低下させる働きがあった (Hayakawa *et al.*, 2006). 北海道東部の草地酪農流域では、多降雨年には草地への窒素投入量の約 $1/3$ が表面流出したこと、緩衝河畔林流下過程で流出水中の全窒素濃度が 7.8 mg L^{-1} から 2 mg L^{-1} に低下したことが報告された (鶴木, 2006). 北海道のサロベツ湿原へのササ侵入、釧路湿原のハンノキ林拡大を例に、泥炭地環境の保全と地下水水質の関係が解説された (橘・辰巳, 2007). 北海道中央部農村地域の河川水の窒素汚染に対する点源と面源の寄与が評価された (Nagumo *et al.*, 2004). 生産構造の異なる農業集水域で河川水質と農業由来の窒素・リン過剰との関係が検討された (Mishima *et al.*, 2007).

畜産廃棄物の素堀り貯留池からの窒素排出が小集水域内の河川水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ および全窒素濃度に与える影響が調査された (加藤ら, 2005b). 沿岸施設園芸地域の地下水水質の経年変化と影響因子が多変量解析により検討された (柳川瀬ら, 2005). 鹿児島県笠野原シラス台地周縁の地下水・湧水および河川水中の NO_3^- 濃度の実態が調査された (松元ら, 2005a; 松元・餅田, 2005). 同台地周縁部の水田は高い脱窒能と窒素浄化機能を有していた (松元ら, 2005b). 南西諸島の NO_3^- による地下水汚染の発生機構、実態と対策が解説された (中西, 2006). 琉球石灰岩分布地帯の湧水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、1990 年代半ばをピークとして低下傾向にあることが認められた (吉本ら, 2007).

網走地域の黒ボク土畑で浸透水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を 10 mg L^{-1}

以下にするための投入窒素量の上限は $150\text{ kg ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$ と見積もられた (鈴木・志賀, 2004). 作物による窒素持出量と余剰水量からみた $\text{NO}_3\text{-N}$ 残存許容量の和として定義した“窒素環境容量”により、投入窒素量の上限を評価できるとされた (松本ら, 2005). 窒素環境容量をもとに、北海道の市町村単位で地下水の NO_3^- 汚染リスクが評価され (松本・唐, 2006), 汚染リスク評価のためのソフトウェア "NiPRAS" が開発された (唐ら, 2007). 酪農と飼料畑を含む流域で窒素流出負荷削減のモデル予測が行われた (吉田ら, 2006).

琵琶湖周辺の内湖には降雨時に大量の懸濁態窒素・リンが流入するが、流出負荷増加量は流入量に比べて小さいことが明らかにされた (金木・山本, 2004). 幹線排水路の水を再利用する循環灌漑システムによる窒素、リンおよび懸濁物質排出抑制効果が検討された (濱ら, 2007a, 2007b).

タイ国バンコク市西部の丘陵地帯で、輸出用アスパラガス栽培に伴う土壌へのリン集積と地下水の NO_3^- 汚染が調査された (Phupaibul *et al.*, 2004).

6. 土壌構造・土層改良

アロフェン・イモゴライトの水分保持・吸着特性と微細構造が解説された (軽部, 2004). 有機物資材施用が黒ボク土の保水性と透水性に及ぼす影響が調べられた (Eusufzai *et al.*, 2007). フミン酸、石膏等を団粒形成剤として混入した土壌の物理性とその経時変化が調査された (小島ら, 2005). 発酵処理した乳牛ふん尿スラリーを土壌に施用すると、団粒形成効果があった (保井ら, 2005a, 2005b). 石炭灰の粗粒成分 (クリンカアッシュ) 施用によるジャーガルの土壌物理性改善効果が検討された (久保寺, 2006). ヒノキリター下の撥水性の強い土壌の団粒表面は、C-C または C=C 結合した炭素に富んでいた (小林・松井, 2006). 砂質土の撥水性に対する有機物、カオリナイトおよびモンモリロナイト添加と含水比の影響が調べられた (Leelamanie and Karube, 2007). 土壌の酸性化は非晶質 Al 水酸化物の増加と 2:1 型粘土の層間 Al 形成を介して、団粒の安定化や分散性低下など土壌物理性の改善に寄与するとされた (Itami and Kosaki, 2005). 岩手県北部の火山灰累層中の根成孔隙は損傷・消滅が進みつつあることが明らかにされた (佐藤ら, 2006). 雲仙普賢岳の火砕流堆積地では、細粒粒子流出による粗粒化が表層土壌の透水性を増大させていた (小川ら, 2006).

作付履歴が重粘土のコンシステンシーに及ぼす影響が調査された (足立ら, 2005). 重粘土水田で暗渠疎水材もみ殻の腐敗劣化が渠溝の空洞化と排水能力に及ぼす影響が調査された (吉田ら, 2005). 水田と転換畑の暗渠直上の浸透能には亀裂と疎水材の深度が影響し、大きな空間的変動がみられた (吉田・足立, 2005). 水稻の水分吸収による株間の収縮亀裂発生位置を予測するために、二次元圧密理論による数値解析が行われた (Yoshida and Adachi, 2004). 暗渠管や疎水材を用いない掘削型無材暗渠の耐久

性と適用条件が検討され、泥炭土転換畑で十分な排水効果が認められた(北川ら, 2004, 2006b)。傾斜地水田では圃場整備施工時に耕盤を欠いた部分が形成される場合があり、整備後15年経過後もなおその影響が残った(小倉ら, 2006)。積雪寒冷地における排水不良地の特徴、暗渠施工による排水改良と問題点が解説された(北川, 2005)。暗渠施工による重粘土転換畑の小麦生育の改善効果が航空写真により確認された(石田ら, 2005b)。北海道の泥炭農地整備技術の変遷と課題が解説された(石渡, 2006)。水田輪作における弾丸暗渠による排水効果の持続性が検討された(冠ら, 2007)。十勝岳泥流地帯の転換畑でみられる暗渠管閉塞は鉄酸化細菌による繊維状の非晶質酸化鉄の沈積が原因で、ロックウール疎水材の使用が閉塞回避に有効であった(北川ら, 2006a)。畑作物を連作した重粘土転換畑では酸化層の拡大と角塊状構造の発達により下層土の乾燥が速やかで、根粒の窒素固定活性、ダイズ根の窒素吸収活性ともに高かった(金田ら, 2004)。パラグアイ東部の粗粒質“テラロッサ”圃場ではダイズ不耕起栽培継続による土壌硬度の増大が著しく、土壌侵食量も細粒質圃場の約3倍に達した(Kubota *et al.*, 2005)。水稻生育後期の湛水処理期間の違いが収穫期の土壌物理性に与える影響が調査された(稲原ら, 2006)。ランドサット TM データを利用した水田の表面排水性区分が行われた(八槇・安西, 2004)。

南西諸島のマージ土壌は高 pH 条件で乾燥時に強く硬化する。硬化は土壌の微細形態の変化を介したのではなく(Kubotera, 2004)、堆肥施用3~6月後に生じる場合もあった(久保寺, 2007)。北海道十勝地方の畑土壌の耕盤層形成実態と心土破砕効果が明らかにされた(中津ら, 2004)。砂質火砕流堆積物客土によるクラスト硬度の減少、ブラウ牽引比抵抗の減少などの効果が検討された(横井, 2006)。アマゾン中央地域で樹木植栽によるフェラルソルの土壌物理性改善効果が調査された(Hirai *et al.*, 2005)。

カザフスタンとウズベキスタンの水稻作・綿花作灌漑圃場で可溶性塩類・石膏含量の分布が解析された(Funakawa *et al.*, 2007)。また、水溶性塩類の土壌断面内含量分布の広域調査結果に基づいて、灌漑による二次的塩類化の潜在的危険性が評価された(Funakawa and Kosaki, 2007)。内蒙古において、除塩灌漑に伴う排水不良農地の塩分分布の空間的変動とその原因(久米ら, 2004a, 2004b)、灌漑水から排水までの水質変化(赤江ら, 2004)が調査された。

文 献

- 足立一日出・細川 寿・吉田修一郎 2005. 農土論集, **240**, 1–8.
 Ahmad, R., Katou, H., and Kookana, R. S. 2005. *J. Environ. Qual.*, **34**, 1045–1054.
 赤江剛夫・宇野 徹・史 海濱・李 延林 2004. 農土論集, **234**, 79–87.
 赤江剛夫・田中亜弥・石黒宗秀 2007. 土壌の物理性, **106**, 11–19.
 赤羽幾子・南條正巳・高橋 正・関口 道・三枝正彦 2006. 土肥誌, **77**, 171–177.
 Akahane, I., Sasaki, N., Nanzyo, M., Takahashi, T., Tashiro, T., Sekiguchi, O., and Saigusa, M. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 654–661.
 Alam, A. H. M. B., Takeuchi, J., and Kawachi, T. 2006. 農土論集, **244**, 29–37.
 安中武幸 2006. 土壌の物理性, **102**, 79–86.
 Annaka, T., and Hanayama, S. 2005. *Vadose Zone J.*, **4**, 127–133.
 Annaka, T., and Hanayama, S. 2007. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **71**, 901–908.
 安中武幸・川島麻理枝 2006. 農土論集, **241**, 149–150.
 青木 大・長谷川周一 2007. 農業農村工学会論文集, **252**, 33–40.
 朝田 景・干川 明・加藤 誠・西村 拓 2006. 土壌の物理性, **104**, 41–49.
 Asgedom, G. G., and Hasegawa, S. 2005. 土壌の物理性, **100**, 65–75.
 Aydin, M., Yano, T., and Kilic, S. 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 450–459.
 Baba, M., Kato, M., Sugiura, T., and Kobayashi, H. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 403–411.
 坂西研二・中村 乾 2007. 農業農村工学会誌, **75**, 821–824.
 Bodhinayake, W., Si, B. C., and Noborio, K. 2004. *Vadose Zone J.*, **3**, 964–970.
 陳 嬌・三原真智人・駒村正治 2004. 農土論集, **229**, 7–13.
 Chen, Z., He, M., Sakurai, K., Kang, Y., and Iwasaki, K. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 517–529.
 Cheng, W., Yagi, K., Akiyama, H., Nishimura, S., Sudo, S., Fumoto, T., Hasegawa, T., Hartley, A. E., and Megonigal, J. P. 2007. *J. Environ. Qual.*, **36**, 1920–1925.
 Cho, H., de Rooij, G. H., and Inoue, M. 2005. *Vadose Zone J.*, **4**, 908–914.
 Darmawan, Kyuma, K., Saleh, A., Subagio, H., Masunaga, T., and Wakatsuki, T. 2006a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 634–644.
 Darmawan, Kyuma, K., Saleh, A., Subagio, H., Masunaga, T., and Wakatsuki, T. 2006b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 645–653.
 Deb, S. K., Miyazaki, T., Mizoguchi, M., and Katsuhisa, S. 2006. 農土論集, **241**, 1–11.
 Dehghanianij, H., Yamamoto, T. and Inoue, M. 2004. 土壌の物理性, **98**, 21–30.
 Ding, W., Yagi, K., Akiyama, H., Sudo, S., and Nishimura, S. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 362–372.
 江口定夫 2006. 土壌の物理性, **102**, 19–30.
 Eusufzai, M. K., Maeda, T., and Fujii, K. 2007. 土壌の物理性, **107**, 3–16.
 笛木伸彦・谷 昌幸・中津智史 2007. 土肥誌, **78**, 309–312.
 Fujikawa, T., and Miyazaki, T. 2005. *Soil Sci.*, **170**, 892–901.
 藤川智紀・高松利恵子・中村真人・宮崎 毅 2007. 土肥誌, **78**, 487–495.
 Fujimaki, H., Inoue, M., and Konishi, K. 2004. *Geoderma*, **120**, 177–185.
 Fujimaki, H., Shimano, T., Inoue, M., and Nakane, K. 2006. *Vadose Zone J.*, **5**, 1246–1256.
 藤田奈都・古川康德 2005. 奈良県農技セ研報, **36**, 21–27.
 Funakawa, S., and Kosaki, T. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 634–649.
 Funakawa, S., Nakamura, I., Akshalov, K., and Kosaki, T. 2004a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 1211–1218.
 Funakawa, S., Nakamura, I., Akshalov, K., and Kosaki, T. 2004b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 1219–1227.
 Funakawa, S., Suzuki, R., Kanaya, S., Karbozova–Saljnikov, E., and Kosaki, T. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 150–161.
 Furukawa, Y., Inubushi, K., Ali, M., Itang, A. M., and Tsuruta, H. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 81–91.
 後藤英次・宮森康雄・長谷川進・稲津 脩 2004. 土肥誌, **75**, 191–201.
 Hadi, A., Inubushi, K., Furukawa, Y., Purnomo, E., Rasmadi, M., and Tsuruta, H. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 73–80.

- 濱 武英・中村公人・三野 徹 2007a. 農業農村工学会論文集, **250**, 91-97.
- 濱 武英・中村公人・渡部慧子・三野 徹・金木亮一 2007b. 農業農村工学会誌, **75**, 831-835.
- Hanayama, S., Natsuga, M., Annaka, T., and Kasubuchi, T. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 579-583.
- Hansson, K., Simunek, J., Mizoguchi, M., Lundin, L. C., and van Genuchten, M. Th. 2004. *Vadose Zone J.*, **3**, 693-704.
- Hashimoto, T., Furue, K., and Kubota, T. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 899-903.
- 橋本知義・神山和則・久保田哲史 2004. 土肥誌, **75**, 593-600.
- 波多野隆介 2005. 土壌の物理性, **99**, 21-28.
- Hayakawa, A., Shimizu, M., Woli, K. P., Kuramochi, K., and Hatano, R. 2006. *J. Environ. Qual.*, **35**, 617-627.
- Hayashi, K., Nishimura, S., and Yagi, K. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 545-555.
- Higashi, N., Mori, Y., and Inoue, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 1023-1033.
- 東 直子・森也寸志・井上光弘 2005. 土壌の物理性, **101**, 27-35.
- 平賀昌晃 2004. 岩手県農研セ研報, **4**, 31-41.
- Hirai, K., Ferraz, J., Ferreira, S. F., and Kobayashi, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 761-765.
- 人見忠良・吉永育生・三浦 麻・濱田康治・白谷栄作・高木強治 2007. 農業農村工学会論文集, **250**, 73-81.
- 寶示戸雅之・林 健太郎・村野健太郎・森 昭憲 2006a. 土肥誌, **77**, 53-57.
- 寶示戸雅之・松波寿弥・林 健太郎・村野健太郎・森 昭憲 2006b. 土肥誌, **77**, 47-52.
- Hosono, T., Hosoi, N., Akiyama, H., and Tsuruta, H. 2006. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **75**, 115-134.
- Hou, H., Takamatsu, T., Koshikawa, M. K., and Hosomi, M. 2005. *Soil Sci.*, **170**, 624-639.
- Hou, H., Takamatsu, T., Koshikawa, M. K., and Hosomi, M. 2006. *Eur. J. Soil Sci.*, **57**, 214-227.
- 家田浩之・塩沢 昌 2004. 農土論集, **234**, 107-113.
- 飯山一平 2006. 土壌の物理性, **103**, 79-85.
- Iiyama, I., and Hasegawa, S. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 431-435.
- Iiyama, I., Fujimoto, T., Nagata, O., and Hasegawa, S. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 313-322.
- 飯山一平・松森堅治・藤原英司・中島泰弘 2007. 土壌の物理性, **107**, 17-26.
- 池田彰弘 2005. 土肥誌, **76**, 905-908.
- 今井克彦・恒川 歩・柴山浩子・糟谷真宏 2006. 愛知県農総試研報, **38**, 7-13.
- 井本博美・嶋下顕彦・加藤洋一郎・常田岳志・宮崎 毅 2006. 土壌の物理性, **104**, 51-60.
- Inagaki, Y., and Kohzu, A. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 667-670.
- 稲原 誠・雄川洋子・東 英男 2006. 富山県農技セ研報, **23**, 1-10.
- 井上博道・増田欣也・坂本 清・額田光彦・梅宮善章・喜多正幸 2007. 土肥誌, **78**, 81-83.
- 井上健一・西尾 隆 2006. 土肥誌, **77**, 659-665.
- 井上光弘・森井俊広・西村 拓・藤巻晴行 2004. 農土論集, **231**, 39-45.
- Inubushi, K., Otake, S., Furukawa, Y., Shibasaki, N., Ali, M., Itang, A. M., and Tsuruta, H. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 93-99.
- 石橋英二・山本章吾・赤井直彦・鶴田治雄 2005. 土肥誌, **76**, 629-639.
- 石橋英二・山本章吾・赤井直彦・鶴田治雄 2007. 土肥誌, **78**, 453-463.
- 石田哲也・石渡輝夫・小野寺康浩・栗田啓太郎・君和田健二・永田修・安田道夫 2005a. 土肥誌, **76**, 187-191.
- 石田哲也・石渡輝夫・大塚健二・丹羽勝久 2005b. ベドロジスト, **49**, 2-8.
- Ishiguro, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 637-640.
- 石渡輝夫 2006. 土壌の物理性, **104**, 109-117.
- Ishizuka, S., Iswandi, A., Nakajima, Y., Yonemura, S., Sudo, S., Tsuruta, H., and Murdiyarso, D. 2005a. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 17-32.
- Ishizuka, S., Iswandi, A., Nakajima, Y., Yonemura, L., Sudo, S., Tsuruta, H., and Muriyarso, D. 2005b. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 55-62.
- Itami, K., and Kosaki, T. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 659-662.
- Itoh, Y., Takahashi, M., Akama, A., Mizoguchi, T., Yoshinaga, S., Tsuruta, T., and Abe, T. 2005. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 437-442.
- 糸数 哲・恩田裕一・太田岳史・杉盛啓明・芝野博文 2007. 砂防学会誌, **60** (3), 11-18.
- 加治俊幸 2006. 鹿児島県農試研報, **34**, 55-63.
- Kamewada, K. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 401-412.
- 神田美奈子・伊森博志・宮下 徹・野上雅弘・小谷佳史・水澤靖弥 2006. 福井県農試研報, **43**, 33-38.
- 金田 哲・金子信博 2006. 土肥誌, **77**, 299-306.
- 金田吉弘・佐藤 孝・古田規敏・生野みどり・小林ひとみ・太田 健・進藤勇人・佐藤 敦 2004. 土肥誌, **75**, 185-190.
- 金木亮一・山本愛子 2004. 農土論集, **231**, 19-24.
- 冠 秀昭・岩佐郁夫・星 信幸・加藤 誠 2007. 農業農村工学会論文集, **250**, 107-115.
- 軽部重太郎 2004. 土壌の物理性, **96**, 27-33.
- 糟谷真宏 2006. 土肥誌, **77**, 93-95.
- Katayanagi, N., and Hatano, R. 2005. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 309-318.
- 加藤弘亮・恩田裕一・平松晋也・柏木章子・宮本邦明 2005a. 砂防学会誌, **58** (2), 5-14.
- 加藤 亮・志村もと子・黒田久雄・中曽根英雄 2005b. 農土論集, **238**, 61-67.
- Katoh, M., Murase, J., Hayashi, M., Matsuya, K., and Kimura, M. 2004a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 721-729.
- Katoh, M., Murase, J., and Kimura, M. 2004b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 731-738.
- Katou, H. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 119-127.
- Kawahigashi, M., Kaiser, K., Kalbitz, K., Rodionov, A., and Guggenberger, G. 2004. *Global Change Biology*, **10**, 1576-1586.
- Kawahigashi, M., Kaiser, K., Rodionov, A., and Guggenberger, G. 2006. *Global Change Biology*, **12**, 1868-1877.
- 川本 健・Banyar, A. 2004. 農土論集, **230**, 75-83.
- 川本 健・Banyar, A.・Moldrup, P.・小松登志子・小田匡寛 2004. 農土論集, **233**, 83-91.
- 川本 健・小松登志子・Moldrup, P.・吉川省子・藤川智紀 2005. 土壌の物理性, **101**, 37-50.
- Kawamoto, K., Mashino, S., Oda, M., and Miyazaki, T. 2004. *Geoderma*, **119**, 197-217.
- Kawamoto, K., Moldrup, P., Ferre, Ty P. A., Tuller, M., Jacobsen, O. H., and Komatsu, T. 2006a. *Soil Sci.*, **171**, 573-584.
- Kawamoto, K., Moldrup, P., Komatsu, T., de Jonge, L. W., and Oda, M. 2007. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **71**, 1658-1666.
- Kawamoto, K., Moldrup, P., Schjønning, P., Iversen, B. V., Komatsu, T., and Rolston, D. E. 2006b. *Vadose Zone J.*, **5**, 1205-1215.
- Kawamoto, K., Moldrup, P., Schjønning, P., Iversen, B. V., Rolston, D. E., and Komatsu, T. 2006c. *Vadose Zone J.*, **5**, 1194-1204.
- Khalil, M., Seki, K., Miyazaki, T., Mizoguchi, M., and Sakai, M. 2006.

- 農土論集, **246**, 33–40.
- Kimura, M., Murase, J., and Lu, Y. 2004. *Soil Biol. Biochem.*, **36**, 1399–1416.
- Kimura, S. D., Liang, L., and Hatano, R. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **70**, 271–282.
- Kimura, S. D., Mu, Z., Toma, Y., and Hatano, R. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 373–386.
- 木村園子・ドロテア・岡崎正規・波多野隆介 2006. 土肥誌, **77**, 351–359.
- Kinjo, K., Tokashiki, Y., Sato, K., Kitou, M., and Shimo, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 809–817.
- 金城和俊・渡嘉敷義浩・佐藤一紘・鬼頭 誠・志茂守孝 2007. 土肥誌, **78**, 45–51.
- 北川 巖 2005. 土壌の物理性, **100**, 43–53.
- 北川 巖・竹内晴信・木曾誠二 2006a. 農土論集, **241**, 117–122.
- 北川 巖・竹内晴信・横井義雄 2004. 土肥誌, **75**, 483–486.
- 北川 巖・竹内晴信・横井義雄 2006b. 農土論集, **243**, 73–78.
- 小林政広・松井宏昭 2006. 土肥誌, **77**, 525–531.
- 小林敏正・小森信明・徳田祐二 2005. 滋賀県農総セ農試研報, **45**, 13–36.
- 小林由佳・北原 曜・小野 裕 2004. 日林誌, **86**, 365–371.
- 小谷義将・加藤 誠・塩野隆弘・西村 拓 2007. 農業農村工学会誌, **75**, 825–829.
- 古賀伸久 2007. 土壌の物理性, **105**, 5–14.
- Koga, N., Tsuruta, H., Sawamoto, T., Nishimura, S., and Yagi, K. 2004. *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB4025.
- 神山和則・寶示戸雅之・佐々木寛幸・松浦庄司 2006. 土肥誌, **77**, 283–291.
- Koide, T., Sakai, K., Kawahara, S., Usui, Y., Nakahara, O., and Hatano, R. 2005. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 443–450.
- 小島倫直・宮崎 毅 2004. 農土論集, **232**, 51–58.
- 小島紀徳・古牧絵莉・加藤 茂・濱野裕之 2005. 農土論集, **237**, 31–36.
- 小松登志子・Moldrup, P. 2005. 土壌の物理性, **100**, 5–13.
- 小関 恭・佐々木長市・Pongpatthanasi, S.・諸泉利嗣 2004. 農土論集, **229**, 15–22.
- 小杉賢一朗 2005. 土壌の物理性, **100**, 15–26.
- Kosugi, K., and Katsuyama, M. 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 371–382.
- 小杉賢一朗・堤 大三・水山高久・長谷川秀三 2004. 砂防学会誌, **57** (3), 3–13.
- Kubota, A., Bordon, J., Hoshiba, K., Horita, T., and Ogawa, K. 2005. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **69**, 1448–1454.
- Kubotera, H. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 269–275.
- 久保寺秀夫 2006. 土肥誌, **77**, 541–548.
- 久保寺秀夫 2007. 土肥誌, **78**, 587–590.
- 久米 崇・長野宇規・渡邊紹裕・三野 徹 2004a. 農土論集, **233**, 21–28.
- 久米 崇・長野宇規・渡邊紹裕・三野 徹 2004b. 農土論集, **234**, 19–26.
- Kusa, K., Hu, R., Sawamoto, T., and Hatano, R. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 103–113.
- Kyaw, K. M., Toyota, K., Okazaki, M., Motobayashi, T., and Tanaka, H. 2005. *Biol. Fertil. Soils*, **42**, 72–82.
- Leelamanie, D. A. L., and Karube, J. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 711–719.
- Li, Z., and Yagi, K. 2004. *Soil Biol. Biochem.*, **36**, 1967–1973.
- Liang, L., Nagumo, T., and Hatano, R. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **73**, 119–134.
- 劉 廷璽・天谷孝夫・朝倫巴根・劉 小燕 2004a. 農土論集, **233**, 1–12.
- 劉 霞・天谷孝夫・赤江剛夫・西村直正 2004b. 農土論集, **230**, 21–28.
- Lu, Y. H., Watanabe, A., and Kimura, M. 2004. *Biogeochemistry*, **71**, 1–15.
- 前島勇治・川崎 晃 2006. 土肥誌, **77**, 119–124.
- Maie, N., Watanabe, A., and Kimura, M. 2004. *Geoderma*, **120**, 309–323.
- 松井宏之・福永隆二・清水 智 2007. 農業農村工学会論文集, **252**, 97–102.
- 松元 順・餅田利之 2005. 鹿児島県農試研報, **33**, 49–55.
- 松元 順・餅田利之・古江広治 2005a. 鹿児島県農試研報, **33**, 41–48.
- 松元 順・餅田利之・古江広治・上蘭一朗・長友 誠 2005b. 鹿児島県農試研報, **33**, 57–62.
- 松本武彦・唐 星児 2006. 土肥誌, **77**, 17–24.
- 松本武彦・三木直倫・木場稔信 2005. 土肥誌, **76**, 411–419.
- 松波寿弥・寶示戸雅之・森 昭憲 2005. 土肥誌, **76**, 609–617.
- Melling, L., Goh, K. J., and Hatano, R. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 788–792.
- Melling, L., Hatano, R., and Goh, K. J. 2005a. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 275–284.
- Melling, L., Hatano, R., and Goh, K. J. 2005b. *Soil Biol. Biochem.*, **37**, 1445–1453.
- Melling, L., Hatano, R., and Goh, K. J. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 792–805.
- Mishima, S., Kimura, R., and Inoue, T. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 263–267.
- 三島慎一郎・松森 信・井上恒久 2004. 土肥誌, **75**, 275–281.
- Mishima, S., Taniguchi, S., Kawasaki, A., and Komada, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 437–442.
- Mishima, S., Taniguchi, S., Kohyama, K., and Komada, M. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 318–327.
- Mishima, S., Taniguchi, S., and Komada, M. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 556–563.
- 三浦憲蔵・西尾 隆 2004. 土肥誌, **75**, 459–465.
- 三浦伸之・阿江教治 2005a. 土肥誌, **76**, 587–592.
- 三浦伸之・阿江教治 2005b. 土肥誌, **76**, 843–848.
- 三輪睿太郎・織田健次郎・松本成夫 2006. 土肥誌, **77**, 627–634.
- 宮本英揮・筑紫二郎 2006. 土壌の物理性, **104**, 5–12.
- Miyamoto, T., Annaka, T., and Chikushi, J. 2005a. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **69**, 23–29.
- 宮本輝仁・原口暢朗・塩野隆弘 2004. 九州農業研究, **66**, 56.
- Miyamoto, T., Kobayashi, M., Haraguchi, N. and Shiono, T. 2005b. *J. Agric. Meteorol.*, **60**, 1077–1080.
- 宮崎成生・亀和田國彦・岩崎慎也 2005. 栃木県農試研報, **55**, 45–55.
- Moldrup, P., Olesen, T., Blendstrup, H., Komatsu, T., de Jonge, L. W., and Rolston, D. E. 2007. *Soil Sci.*, **172**, 741–750.
- Moldrup, P., Olesen, T., Yoshikawa, S., Komatsu, T., McDonald, A. M., and Rolston, D. E. 2005a. *Soil Sci.*, **170**, 867–880.
- Moldrup, P., Olesen, T., Yoshikawa, S., Komatsu, T., and Rolston, D. E. 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 750–759.
- Moldrup, P., Olesen, T., Yoshikawa, S., Komatsu, T., and Rolston, D. E. 2005b. *Soil Sci.*, **170**, 843–853.
- Moldrup, P., Olesen, T., Yoshikawa, S., Komatsu, T., and Rolston, D. E. 2005c. *Soil Sci.*, **170**, 854–866.
- Momose, T., and Kasubuchi, T. 2004. *Eur. J. Soil Sci.*, **55**, 193–199.
- Mori, A., and Hojito, M. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 812–818.
- 森 昭憲・寶示戸雅之・神山和則 2007. 土肥誌, **78**, 23–31.
- 森 昭憲・寶示戸雅之・近藤 熙・松波寿弥 2004. 土肥誌, **75**, 651–658.

- Mori, A., Hojito, M., Kondo, H., Matsunami, H., and Scholefield, D. 2005a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 19–27.
- Mori, Y., Hopmans, J. W., Mortensen, A. P., and Kluitenberg, G. J. 2005b. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **69**, 599–606.
- Morii, T., Matsumoto, S., Mori, T., and Inaba, K. 2004. 農土論集, **231**, 75–81.
- Morisada, K., Ono, K., and Kanomata, H. 2004. *Geoderma*, **119**, 21–32.
- Morishita, T., Hatano, R., Nagata, O., Sakai, K., Koide, T., and Nakahara, O. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 1187–1194.
- Morishita, T., Sakata, T., Takahashi, M., Ishizuka, S., Mizoguchi, T., Inagaki, Y., Terazawa, K., Sawata, S., Igarashi, M., Yasuda, H., Koyama, Y., Suzuki, Y., Toyota, N., Muro, M., Kinjo, M., Yamamoto, H., Ashiya, D., Kanazawa, Y., Hashimoto, T., and Umata, H. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 678–691.
- 森谷慈宙・山本太平・Henintsoa, H.・村木広和 2006. 農土論集, **244**, 143–149.
- 森次真一・石橋英二・沖 和生 2006. 岡山県農総セ農試研報, **24**, 1–6.
- Moroizumi, T., and Horino, H. 2004. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 1138–1144.
- 武藤由子・渡辺晋生・新庄 彬 2004. 土壌の物理性, **96**, 65–70.
- 永田 修 2006. 土壌の物理性, **104**, 85–95.
- Nagumo, F., Issaka, R. N., and Hoshikawa, A. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 676–685.
- Nagumo, T., Woli, K.P., and Hatano, R. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 109–117.
- Nakajima, Y., Ishizuka, S., Tsuruta, H., Iswandi, A., and Murdiyarso, D. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 33–42.
- 中丸康夫・内田滋夫・荻生延子・高橋知之・寺門正人・富田賢一・池田 浩・黒澤直弘 2005. 土肥誌, **76**, 421–426.
- Nakamoto, K., Niimi, H., and Ohba, K. 2005. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 377–384.
- 中村公人・取出伸夫 2007. 土壌の物理性, **105**, 83–97.
- Nakamura, K., Harter, T., Hirono, Y., Horino, H., and Mitsuno, T. 2004. *Vadose Zone J.*, **3**, 1353–1366.
- 仲村渠将・吉永安俊・酒井一人・秋吉康弘・大澤和敏 2007. 農土論集, **249**, 47–53.
- 中西康博 2006. 土壌の物理性, **102**, 31–38.
- Nakano, K., and Miyazaki, T. 2005. *Soil Tillage Res.*, **84**, 145–153.
- Nakano, T., Sawamoto, T., Morishita, T., Inoue, G., and Hatano, R. 2004. *Soil Biol. Biochem.*, **36**, 107–113.
- Nakano, T., Takeuchi, W., Inoue, G., Fukuda, M., and Yasuoka, Y. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 77–88.
- 中尾誠司 2007. 農業農村工学会誌, **75**, 811–815.
- 中津智史・東田修司・沢崎明弘 2004. 土肥誌, **75**, 265–268.
- 南波陽平・堀田紀文・鈴木雅一・執印康裕 2007. 砂防学会誌, **59** (6), 14–24.
- 南條正巳・山田恵子 2005. 土壌の物理性, **99**, 45–54.
- Naser, H. M., Nagata, O., Tamura, S., and Hatano, R. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 95–101.
- 新良力也・渥美和彦 2007. 土肥誌, **78**, 299–302.
- 新良力也・渥美和彦・宮地直道 2005. 土肥誌, **76**, 901–904.
- 西川知行・恩田裕一・田中幸哉・加藤弘亮・辻村真貴・関 李紀・浅野眞希・Davaa, G.・Dyunbaatar, D. 2005. 砂防学会誌, **58** (3), 4–14.
- Nishimura, S., Sawamoto, T., Akiyama, H., Sudo, S., Cheng, W., and Yagi, K. 2005a. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **69**, 1977–1986.
- Nishimura, S., Sudo, S., Akiyama, H., Yonemura, S., Yagi, K., and Tsuruta, H. 2005b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 557–564.
- Nishimura, T., Yamamoto, T., Suzuki, S., and Kato, M. 2005c. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 641–644.
- 西尾 隆 2006a. 土壌の物理性, **102**, 1–3.
- 西尾 隆 2006b. 土肥誌, **77**, 401–406.
- 西尾 隆 2007. 土肥誌, **78**, 619–626.
- 西尾 隆・三浦憲蔵 2004. 土肥誌, **75**, 445–451.
- 登尾浩助 2004. 土壌の物理性, **96**, 57–63.
- Noborio, K., Kachanoski, R. G., and Tan, C. S. 2006. *Vadose Zone J.*, **5**, 412–418.
- 登尾浩助・徳本家康・向井田善朗 2005a. 土壌の物理性, **101**, 5–10.
- 登尾浩助・徳本家康・向井田善朗 2005b. 土壌の物理性, **101**, 11–16.
- 織田健次郎 2006. 土肥誌, **77**, 517–524.
- 小川茂男・島 武男・吉迫 宏・福本昌人 2005. 農工研技報, **203**, 139–146.
- 小川泰浩・清水 晃・久保寺秀夫 2006. 日林誌, **88**, 329–336.
- Ogiyama, S., Sakamoto, K., Suzuki, H., Ushio, S., Anzai, T., and Inubushi, K. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 801–808.
- 小倉 力・根本清一・古谷 保・長利 洋・塩野隆弘・成岡 市 2006. 土壌の物理性, **103**, 13–22.
- Ohba, H., and Owa, N. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 379–388.
- Ohse, K., Tamura, K., Tanaka, H., and Higashi, T. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 37–42.
- 岡澤 宏・長澤徹明・井上 京・山本忠男 2005a. 農土論集, **240**, 63–70.
- 岡澤 宏・長澤徹明・井上 京・山本忠男・鶴木啓二 2005b. 農土論集, **237**, 57–65.
- 大森誉紀・谷泉忠幸・山竹定雄・宇高有美・山崎康男 2004. 愛媛県農試研報, **38**, 34–40.
- 小野信一・阿部 薫 2007. 土肥誌, **78**, 323–328.
- 大家理哉・山本章吾・久山弘巳 2007. 土肥誌, **78**, 237–243.
- 大澤和敏・酒井一人・田中忠次・吉永安俊 2004a. 農土論集, **232**, 43–50.
- 大澤和敏・酒井一人・吉永安俊・田中忠次・島田正志 2004b. 農土論集, **229**, 101–108.
- Pande, T. N., and Yamamoto, H. 2006. *Land Degrad. Develop.*, **17**, 419–428.
- Phupaibul, P., Chitbuntanorm, C., Chinoim, N., Kangyawongha, P., and Matoh, T. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 385–393.
- Poulsen, T. G., Moldrup, P., Yoshikawa, S., and Komatsu, T. 2006. *Vadose Zone J.*, **5**, 1119–1128.
- Qafoku, N., Sumner, M. E., and Toma, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 601–603.
- Resurreccion, A. C., Kawamoto, K., Komatsu, T., Moldrup, P., Ozaki, N., and Rolston, D. E. 2007a. *Soil Sci.*, **172**, 3–16.
- Resurreccion, A. C., Kawamoto, K., Komatsu, T., Moldrup, P., Sato, K., and Rolston, D. E. 2007b. *Soil Sci.*, **172**, 432–443.
- 三枝正彦・小林紀子・山本晶子 2004. 土肥誌, **75**, 1–7.
- 斎藤広隆・坂井 勝・Šimůnek J.・取出伸夫 2006. 土壌の物理性, **104**, 63–73.
- 斎藤広隆・Šimůnek, J.・取出伸夫 2007. 土壌の物理性, **107**, 79–96.
- Saito, H., Yoshino, K., Ishida, T., Nagano, T., Sirichuaychoo, W., Jongskul, A., and Haraguchi, N. 2005. *Geoderma*, **125**, 235–247.
- Sakaguchi, A., Nishimura, T., and Kato, M. 2005. *Vadose Zone J.*, **4**, 139–144.
- 坂口 巖・望月秀俊・井上光弘・稲永 忍 2004a. 土壌の物理性, **98**, 3–10.
- Sakaguchi, I., Momose, T., and Kasubuchi, T. 2007. *Eur. J. Soil Sci.*, **58**, 92–97.
- 坂口義英・山本太平・井上光弘 2004b. 農土論集, **232**, 35–41.
- 坂口義英・山本太平・井上光弘 2005. 農土論集, **237**, 89–97.
- 坂井 勝・取出伸夫 2007a. 土壌の物理性, **106**, 33–46.
- 坂井 勝・取出伸夫 2007b. 土壌の物理性, **107**, 63–77.

- Sakata, T., Ishizuka, S., and Takahashi, M. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 328–336.
- 佐藤弘和・寺澤和彦 2004. 日林誌, **86**, 349–357.
- 佐藤幸一・徳永光一・佐々木長市・佐瀬 隆 2006. 農土論集, **243**, 101–112.
- 関 勝寿 2007. 土壌の物理性, **105**, 67–78.
- 関 勝寿・神谷準一・宮崎 毅 2005. 農土論集, **237**, 13–19.
- 真行寺 孝・加藤正広 2004. 芝草研究, **32**, 93–99.
- Shinjo, H., Kato, A., Fujii, K., Mori, K., Funakawa, S., and Kosaki, T. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 233–242.
- 篠宮佳樹・鳥居厚志・稲垣善之・山田 毅 2004. 土壌の物理性, **98**, 31–39.
- 塩野隆弘・原 貴洋・山元伸幸・原口暢朗・生駒泰基 2007. 農業農村工学会誌, **75**, 817–820.
- 塩野隆弘・奥島修二・高木 東・福本昌人 2004. 農土論集, **230**, 1–9.
- Shiozawa, S., and Fujimaki, H. 2004. *Water Resour. Res.*, **40**, W07404.
- Shirato, Y. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 183–192.
- 白戸康人 2007. 土壌の物理性, **105**, 15–22.
- Shirato, Y., and Yokozawa, M. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 405–415.
- Shirato, Y., and Yokozawa, M. 2006. *Soil Biol. Biochem.*, **38**, 812–816.
- Shirato, Y., Hakamata, T., and Taniyama, I. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 149–158.
- Shirato, Y., Paisancharoen, K., Sangtong, P., Nakviro, C., Yokozawa, M., and Matsumoto, N. 2005a. *Eur. J. Soil Sci.*, **56**, 179–188.
- Shirato, Y., Zhang, T. H., Ohkuro, T., Fujiwara, H., and Taniyama, I. 2005b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 61–68.
- Shiratori, Y., Watanabe, H., Furukawa, Y., Tsuruta, H., and Inubushi, K. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 387–400.
- Suetsugu, A., Imoto, H., Mizoguchi, M., and Miyazaki, T. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 891–897.
- Suetsugu, A., Sato, T., Kaneta, Y., and Sato, A. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 323–331.
- 末継 淳・佐藤 孝・金田吉弘・佐藤 敦 2006. 農土論集, **242**, 29–37.
- Sukthai, P.・佐々木長市・松山信彦・野田香織・殿内暁夫 2005. 土壌の物理性, **101**, 17–26.
- 鈴木克拓・足立一日出・関口哲生・吉田修一郎・中野恵子・加藤英孝 2005. 土肥誌, **76**, 43–47.
- 鈴木慶次郎・志賀弘行 2004. 土肥誌, **75**, 45–52.
- Suzuki, S. 2004a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 603–606.
- Suzuki, S. 2004b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 1277–1280.
- 洲脇康史・岡崎正規 2005. 土肥誌, **76**, 515–521.
- 田淵俊雄・黒田久雄・池野辺明子・平野真弓 2005a. 土壌の物理性, **99**, 73–83.
- 田淵俊雄・黒田久雄・篠田鎮嗣 2005b. 土壌の物理性, **99**, 65–72.
- 橘 治国・辰巳健一 2007. 土壌の物理性, **105**, 99–109.
- 多田明夫・百済昌人・田中丸治哉・畑 武志 2006a. 農土論集, **246**, 83–94.
- 多田明夫・田中丸治哉・畑 武志 2006b. 農土論集, **245**, 109–122.
- Takakai, F., Morishita, T., Hashidoko, Y., Darung, U., Kuramochi, K., Dohong, S., Limin, S. H., and Hatano, R. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 662–674.
- Takamatsu, T., Koshikawa, M. K., Watanabe, M., Hou, H., and Murata, T. 2007. *Eur. J. Soil Sci.*, **58**, 329–334.
- Takata, Y., Funakawa, S., Akshalov, K., Ishida, N., and Kosaki, T. 2007a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 162–172.
- Takata, Y., Funakawa, S., Akshalov, K., Ishida, N., and Kosaki, T. 2007b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 289–299.
- Tamai, N., Takenaka, C., and Ishizuka, S. 2007. *Soil Biol. Biochem.*, **39**, 1730–1736.
- Terazawa, K., Ishizuka, S., Sakata, T., Yamada, K., and Takahashi, M. 2007. *Soil Biol. Biochem.*, **39**, 2689–2692.
- 常田岳志・溝口 勝・宮崎 毅 2004. 土壌の物理性, **96**, 97–100.
- Tokida, T., Miyazaki, T., and Mizoguchi, M. 2005a. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13823.
- Tokida, T., Miyazaki, T., Mizoguchi, M., Nagata, O., Takakai, F., Kagemoto, A., and Hatano, R. 2007. *Global Biogeochem. Cycles*, **21**, GB2003.
- Tokida, T., Miyazaki, T., Mizoguchi, M., and Seki, K. 2005b. *Eur. J. Soil Sci.*, **56**, 389–396.
- Tokuda, S. and Hayatsu, M. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 365–374.
- 徳本家康・取出伸夫・井上光弘 2007. 農業農村工学会論文集, **252**, 51–60.
- Toma, Y., and Hatano, R. 2007. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 198–205.
- 取出伸夫・坂井 勝・斎藤広隆 2006. 土壌の物理性, **104**, 75–84.
- 唐 星児・志賀弘行・中本 洋・日笠裕治 2007. 土肥誌, **78**, 607–610.
- 恒川 歩・今井克彦・柴山浩子・糟谷真宏・江口定夫 2006. 土肥誌, **77**, 207–211.
- 釣田竜也・吉永秀一郎・阿部俊夫 2005. 土壌の物理性, **101**, 51–56.
- Ueda, S., Go, C. S. U., Ishizuka, S., Tsuruta, H., Iswandi, A., and Murdiyarso, D. 2005. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **71**, 109–116.
- 鶴木啓二 2006. 土壌の物理性, **102**, 39–45.
- 若松孝志・高橋 章・佐藤一男・久保井 喬・柴田英昭 2004a. 土肥誌, **75**, 169–178.
- 若松孝志・高橋 章・佐藤一男・柴田英昭 2004b. 電力中央研究所報告, T03042, p. 1–19.
- Wang, G., Han, X., Nakayama, N., Watanabe, T., Watanabe, A., and Kimura, M. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 139–144.
- Wang, L., and Akae, T. 2004. 土壌の物理性, **98**, 11–19.
- 渡辺晋生・取出伸夫・坂井 勝・Šimůnek, J. 2007. 土壌の物理性, **106**, 21–32.
- Woli, K. P., Nagumo, T., Lie, L., and Hatano, R. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 45–55.
- 山田信明 2007. 土肥誌, **78**, 411–416.
- 山口憲一・松本英樹・大森誉紀 2006. 愛媛県農試研報, **40**, 5–9.
- 山川陽祐・小杉賢一朗・梁 偉立・水山高久 2007. 砂防学会誌, **60** (4), 34–39.
- 八槨 敦・安西徹郎 2004. 千葉県農総研セ研報, **3**, 151–157.
- 八槨 敦・安西徹郎 2005. 千葉県農総研セ研報, **4**, 107–115.
- 山本 博 2004. 日草誌, **50**, 227–232.
- 山本 博 2005. 畜産の研究, **59**, 479–482.
- 山崎真吾・井上光弘・森 也寸志・山本太平 2007. 農業農村工学会論文集, **252**, 25–32.
- 山下祐司・足立泰久 2004. 農土論集, **233**, 75–81.
- 山下祐司・足立泰久 2006. 農土論集, **245**, 47–53.
- 柳川瀬賢幸・藤原 拓・大年邦雄 2005. 農土論集, **240**, 71–80.
- Yanai, J., Mishima, A., Funakawa, S., Akshalov, K., and Kosaki, T. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 261–269.
- Yanai, Y., Toyota, K., Morishita, T., Takakai, F., Hatano, R., Limin, S. H., Darung, U., and Dohong, S. 2007a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **53**, 806–811.
- Yanai, Y., Toyota, K., and Okazaki, M. 2004a. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 821–829.
- Yanai, Y., Toyota, K., and Okazaki, M. 2004b. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 831–837.
- Yanai, Y., Toyota, K., and Okazaki, M. 2007b. *Biol. Fertil. Soils*, **44**, 113–119.
- 保井聖一・筒木 潔・明石憲宗・木村義彰 2005a. 土肥誌, **76**, 269–276.

- 保井聖一・筒木 潔・明石憲宗・木村義彰 2005b. 土肥誌, **76**, 277–284.
- 横井義雄 2006. 土壤の物理性, **103**, 3–12.
- Yokoyama, K., and Ohama, T. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 967–972.
- Yoneyama, T., Dacanay, E. V., Castelo, O., Kasajima, I., and Ho, P. Y. 2004. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **50**, 599–602.
- Yoneyama, T., Okada, H., Chongpraditnum, P., Ando, S., Prasertsak, P., and Hirai, K. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 95–102.
- 吉田正則・村上敏文・藤原伸介 2006. 農土論集, **241**, 45–57.
- Yoshida, S., and Adachi, K. 2004. *Geoderma*, **120**, 63–74.
- 吉田修一郎・足立一日出 2005. 農土論集, **235**, 35–41.
- 吉田修一郎・足立一日出・関 光夫 2005. 農土論集, **235**, 25–33.
- Yoshikawa, S., Yamamoto, H., Hanano, Y., and Ishihara, A. 2004. *JARQ*, **38**, 21–29.
- 吉本周平・土原健雄・石田 聡・今泉眞之 2007. 農業農村工学会論文集, **251**, 69–82.
- Yoshinaga, S., Abe, K., and Okamoto, T. 2005. *Phyton Special Issue: APGC 2004*, **45**, 429–435.
- 吉永安俊・酒井一人・仲村渠将・大澤和敏・塩野隆弘 2007. 農土論集, **249**, 83–88.
- 吉永安俊・酒井一人・渡嘉敷義浩 2004. 農土論集, **229**, 63–69.
- Yuita, K., and Kihou, N. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 455–467.
- Yuita, K., Kihou, N., Ichihashi, H., Yabusaki, S., Fujiwara, H., Kurishima, K., and Noda, T. 2006. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **52**, 122–132.
- Yuita, K., Kihou, N., Yabusaki, S., Takahashi, Y., Saitoh, T., Tsumura, A., and Ichihashi, H. 2005. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **51**, 1011–1021.
- 張 建軍・清水 晃・坪山良夫 2004. 森林総研研報, **3**, 185–191.