

土壌の物理性

第97号

2004年7月

第46回 土壌物理学会シンポジウム（ご案内）

2003（平成15）年度土壌物理学会賞候補の推薦（公募）

巻頭言筑紫 二郎... 1

論文

Field Estimation of Soil Dry Bulk Density Using Amplitude Domain Reflectometry Data.....K. WIJAYA, T. NISHIMURA, M. KATO and M. NAKAGAWA... 3

滞留 NAPL 量推定のための分配トレーサー試験（PITT）の適用性について西脇 淳子・唐 常源・佐倉 保夫・溝口 勝・宮崎 毅... 13

研究ノート

A Simple Estimation of Excess Rainwater Percolation from a Buried Container into a Vadose ZoneK. SEKI, T. MIYAZAKI, M. MIZOGUCHI, H. IMOTO, K. NAKAYA and H. MIYAZAWA... 25

土粒子

Wonderful 中山間地農業佐藤泰一郎... 31

書評

「畑の土と水 一湿潤地域の畑地灌漑論一」吉迫 宏... 33

会務報告 35

編集後記 37

土 壌 物 理 学 会

土壌物理学学会会則

- 第1条 本学会は土壌物理学会（Japanese Society of Soil Physics）と称する。
- 第2条 本学会は土壌物理に関する研究の進歩と普及を図り、農業技術及び環境科学の発展に貢献することを目的とする。
- 第3条 本学会はその目的を達成するために次の事業を行う。
- (1) 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - (2) 学会誌「土壌の物理性（Journal of the Japanese Society of Soil Physics）」並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - (4) 優れた論文に対する表彰
 - (5) その他、本学会の目的を達成するために必要な事業
- 第4条 本学会の会員は、正会員、学生会員及び賛助会員、購読会員の4種とする。会員となるには、評議員会の承認を受けなければならない。退会するには、その旨を本学会に書面により届け出なければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | |
|-----------|------|---------|
| 正会員 | 年額 | 5,500円 |
| 学生会員 | 年額 | 3,000円 |
| （大学院生を含む） | | |
| 賛助会員 | 一口年額 | 22,500円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | 7,500円 |
| 広告料 | 賛助会員 | 15,000円 |
| 賛助会員以外 | | 22,500円 |
- 第6条 本学会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし、3期連続の重任は認めない。選出方法は次による。
- (1) 会長1名、副会長1名、編集委員長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員の中から選挙によって選出される。
ロ 3名以内を会長が正会員の中から委嘱する。
 - (3) 会計監査2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
- (4) 幹事若干名
若干名の庶務、会計、編集の幹事を会長が委嘱する。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- (1) 総会は本学会の最高議決機関であって、事業計画、予算・決算、会則の変更等を決定する。総会は正会員及び学生会員で構成される。
 - (2) 評議員会は、会員の選挙によらない役員を選出、総会議案、その他の重要事項を検討する。評議員会の議長は会長がこれにあたる。
 - (3) 総会及び評議員会の議決は委任状を含む多数決とする。ただし、会則の変更は、総会出席者の3分の2以上の賛成を要する。
- 第8条 本学会の会務は、評議員会及び総会の議を経て、会長、副会長、編集委員長及び幹事がこれを執行する。会務執行に必要な規程は別に定める。
- 第9条 本学会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され、本学会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、学会誌その他の印刷物の編集に当たる。
 - (3) 学会賞選考委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され、学会賞を選考する。
- 第10条 本学会の経費は会費その他の収入を持ってあてられる。本学会の会計年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。
- 附則
- (1) 本学会の連絡先は、これを当分の間次に置く。
〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1
岡山大学環境理工学部
環境管理工学科 生産基盤管理学分野内
 - (2) 本会則は、2003年7月11日より施行する。
(2003.7.10改正)

「土壌の物理性」投稿規定

1. 著者のうち少なくとも1人は本学会会員でなければならない。ただし編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
 2. 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は、「論文」および「研究ノート」については2名、その他は1名の閲読者を選んで閲読を依頼する。
 3. 投稿原稿の区分は下記による。
 - 1) 「論文」(Original papers): 独創性があり、土壌の物理性に関する研究および技術の進歩に寄与すると見なされるもの。一編ごとに論文としての構成を整えていて、他誌に未発表のものに限る。和文原稿には250 words以内の英文 Abstract を、英文原稿には500字以内の和文要旨をつけること。
 - 2) 「研究ノート」(Notes): 土壌の物理性に関する新しい事実や研究方法の改良などの短い報告で、独創性があり他誌に未発表のもの。和文原稿には125 words以内の英文 Abstract を、英文原稿には250字以内の和文要旨をつける。
 - 3) 「総説」(Reviews): 土壌の物理性に関する主題について、それまでの研究を総括し、今後の発展方向を展望するもの。
 - 4) 「解説」(Lectures): 土壌の物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説、ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介など。
 - 5) 「研究紹介」(My research): 現在行っている研究、他の学会誌等に掲載された論文、研究上の工夫などについての平易な紹介。
 - 6) 「資料」(Miscellaneous): 広く会員の参考となる報告や情報。
 - 7) 「土粒子」(Readers' column): 「土壌の物理性」周辺のことについての随想や意見など。
 - 8) 「書評」(Book reviews)
4. 投稿原稿は刷り上がり6ページ以内とし、それを越える場合には1ページあたり9,000円を著者負担とする。また、カラー印刷の場合は実費を著者負担とする。
5. 依頼原稿として「巻頭言」(Foreword)、「講座」(Lecture series)をおく。「講座」は「解説」と本質

的な違いはないが、特に編集委員会が企画して複数回にわたって行うものを指す。

6. 投稿する場合は、正原稿1部、コピー2部の計3部に原稿送り状(別紙書式)をつけて編集委員会事務局宛に提出する。
7. 投稿原稿を受け付けた場合、編集委員会は速やかに受付番号と受付日付を明示した電子メールまたは書状を投稿者に送る。また、掲載が決定し最終原稿を受け取ったら、受理日付を明示した書状を著者に送付する。
8. 著者に対して修正を求めた原稿が、特別な事情なく6ヶ月以内に再提出されないときは取り下げと見なす。
9. 著者校正は初校のみとする。また、特に申し出がない限り印刷済みの原稿は返さない。
10. 別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上を希望する場合は実費を申し受ける。
11. 本誌に掲載された論文等の著作権は土壤物理学会に帰属する。

(1999.11.20 改正, 2003.5.28 補訂)

「土壌の物理性」原稿執筆要領

1. 日本語の原稿の場合、A4判、25字、23行とし、上下左右に30mm以上の余白をとる。(4枚で1ページになる)。
2. 日本語の原稿は、はじめに表題、著者名を書き、そのあとに英語で、表題、著者名(フルネーム)、所属機関と所在地を書いてから本文を書き始める。また、第1ページの脚注に、日本語の所属機関と所在地、5個以内のキーワードを書く。
3. 論文および研究ノートには、英文 Abstract の下に5個以内の英語の Key words をつける。
4. 英語の原稿は、A4判、ダブルスペースで作成する(約600 words で1ページになる)。
5. 英語の論文および研究ノートは、Manuscript title, Full names of authors, Address of institutions of authors, 250 words 以内の英文 Abstract, および5個以内の Key words を書いてから本文を書き始める。
6. 英語原稿には日本語要旨と5個以内の日本語キーワードをつける。
7. 英語の適正化はすべて著者の責任において行うこと。自然科学論文を書いたり校正したりしたことのある英語のネイティブスピーカーによってチェックされている事が望ましい。
8. 閲読終了後に最終原稿を提出するときには、編集委員会事務局が指示する形式・媒体の文書ファイルを同時に送付する。
9. 本文は、章の見出しを、1., 2., 3., 節の見出しを、1.1, 1.2, 1.3, 項の見出しを1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, のようにする。
10. ゴシック、イタリック等の字体や、上付き、下付き文字など、まぎらわしい文字は、誤植防止のため鉛筆で指定する。
11. 略語、略号を使うときには、はじめにそれが出たときに正式名称とともに示す(例:陽イオン交換容量(CEC))。
12. 単位の使い方は国際単位系(SI)による。
13. 図、表、写真の番号は、図1、表2、写真3のよう

に書く。英語を並記する場合は、Fig. 1, Table 2, Photo. 3 とする。英語の原稿では、写真は Fig. として扱う。

14. 図、表、写真は必要最小限度とし、同一事項を表と図に重複して表示する事は避ける。
15. 図、表、写真は1枚毎にA4判で作成するか、またはA4判の紙に貼り付ける。余白に著者名と図表等の番号を鉛筆で記す。
16. 図と写真はそのまま製版されるので、鮮明なものを提出する。
17. 図は1/2倍などとおよその縮小率を指定し、2倍くらいに大きく書く。図の線の太さや文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。
18. 地図や顕微鏡写真には定尺をつけ、縮尺や倍率はずけない。
19. 日本語の論文、研究ノートの場合、図、表、写真の題名には英語を併記する。
20. 図、表、写真の番号と題名は、別紙にまとめて一覧表とする。
21. 本文中で文献を引用する場合は、著者名(西暦)、または(著者名, 西暦)とする(例: Tanaka (1994), (Nakamura and Suzuki, 1981)). 著者が3名以上の場合は第1著者名のあとに——ら、または et al. をつける(例: 山田ら (1978), (Tayler et al., 1945)).
22. 引用文献は、本文のあとに著者名の ABC 順に書く。未発表、私信は引用文献として記載しない。
23. 引用文献の書き方は以下のようにする。
Bouma, J. and Dekker, L.W. (1978): A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. Geoderma, 20: 27-40.
FAO (1988): Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p. 119, FAO, Roma.
岩田進午 (1970): 土壌物理とペドロロジー. ペドロジスト, 14: 28-33.
山崎不二夫監修 (1969): 土壌物理. p. 55, 養賢堂, 東京.
(雑誌のページには p. や pp. をつけない。本の単数ページを示す場合には p., 複数ページを示す場合には pp. をつける)

(2000.3.10 改正, 2003.5.28 補訂)

[土壌物理分野のSI使用例]

国際単位系(SI)については多くの出版物で解説されているので、ここには、土壌物理に特に関連の深い単位の使用例を示す。

	推奨される単位	認められる単位
含水比	kg kg ⁻¹	*
体積含水率	m ³ m ⁻³	
体積	m ³	L, cm ³ , mL
密度	kg m ⁻³ , Mg m ⁻³	
濃度	kg m ⁻³ , Mg m ⁻³	g L ⁻¹ , mg L ⁻¹
モル濃度	mol m ⁻³	mol L ⁻¹
力	N	
水分ポテンシャル	J kg ⁻¹	kPa, m, cm, **
透水係数	m s ⁻¹	cm s ⁻¹
イオン交換容量	mol. kg ⁻¹ , cmol. kg ⁻¹	
回転数	s ⁻¹	min ⁻¹
収量	kg m ⁻²	kg ha ⁻¹ , Mg ha ⁻¹ , t ha ⁻¹

*%表示は、原則として分母と分子の内容が同じものの場合にだけ用いる。

** cm H₂O は使わない。

その他、疑問のあるものについては意見を聞いて編集委員会で検討する。

(2000.3.10 改正)

「土壌の物理性」投稿案内

1. 投稿原稿に対する基本方針

編集委員会は常に会員からの自主投稿を歓迎すると共に、投稿された原稿をなるべく早く、できるだけ掲載する方向で処理したいと考えています。ただし、「土壌の物理性」に掲載する原稿は読者にとって有益かつ完成したものであることが必要です。編集委員会は、投稿原稿が「土壌の物理性」に掲載するのにふさわしい内容を持つ原稿であるかどうかを基準として、掲載の可否を判断します。なお、他誌との二重投稿は認められません。

2. 投稿原稿に求められるもの

投稿に当たっては、「土壌の物理性」の「投稿規定」「原稿執筆要領」をよく読んでそれに従うと共に、閲読者が多忙な中で時間を割くことをよく理解して最大限に努力して完成した原稿としてから投稿して下さい。投稿原稿に求められるものは下の通りです。

(1) 内容について

- 1) オリジナリティーがあること（論文、研究ノートの場合）。
- 2) 本誌の読者にとって有益であること。
- 3) 導入、研究方法から結論に至る過程に論理性があること。

(2) 表現について

- 1) 原稿全体の構成が整っていること。
- 2) 表題が適切であること。
- 3) 文章表現が適切であること。
- 4) 英文アブストラクトや和文要旨が適切であること。
- 5) SI単位や記号の使い方が適切であること。
- 6) キーワードが適切であること。
- 7) 英語の表現が適切であること。

3. 投稿原稿の受付

編集委員会は投稿原稿が体裁上最小限必要とする条件を満たしていることを確認した後、原稿を受け付けます。条件を満たしていない場合には、著者への問い合わせ、もしくは原稿を受け付けずそのまま返稿する場合があります。

4. 閲読の目的と姿勢

編集委員会は受け付けた原稿が「土壌の物理性」へ掲載するのにふさわしいかどうかを判定する資料を得るために閲読を行います。編集委員会は適任の閲読者を選定し、閲読を依頼します。

編集委員会は閲読者に対して特に次の点について注意をお願いします。

- 1) 原稿の内容に対する責任は著者にあること。また、原稿の価値は読者が判断するものであること。
- 2) 閲読は内容の批判や討議を行うものではないこと。従って、見解の相違は掲載不適の理由にならないこと。
- 3) 閲読者は投稿者に対して研究指導する立場にないこと。従って、新たな実験や計算の追加要求などは極力避けること。
- 4) 閲読依頼期限を厳守すること。

閲読者から出された問題点について、編集委員会は原稿が投稿原稿に求められるものを満たすために必要に応じて著者に修正を求めます。ただし、これは著者に対する指導や助言ではありません。原稿の内容に対する責任はあくまで著者にあります。

5. 閲読の手順と原稿の採否

- (1) 編集委員会は論文、研究ノートについては2人、その他の区分の原稿については1人の適任者へ閲読を依頼します。

- (2) 閲読者は「2」の投稿原稿に求められる各項目について原稿を評価し、閲読結果を全体意見および個

別指摘事項と共に編集委員会へ報告します。

- (3) 編集委員会は閲読結果を審議し、原稿の採否を決定します。この際、論文・研究ノートについては原則として下のように取り扱います。

- 1) 閲読者2名とも総合判定がA（このまま掲載可）の場合には、閲読結果を受け取った日付で原稿を受理（掲載決定）します。

- 2) 1名の総合判定はA、もう1名はB（指摘の点が修正されれば掲載可）の場合、または2名ともBの場合には、指摘事項について著者に比較的小さな修正を求めます。修正原稿が提出され、編集委員会が修正内容を確認した時点で受理します。

- 3) 1名の総合判定はB、もう1名はC（指摘の点が修正された後、再閲読する必要あり）の場合、または2名ともCの場合には、指摘事項について著者にやや大きな修正を求めます。提出された修正原稿は再び閲読を行います。

- 4) 1名の総合判定がD（掲載不適）の場合には、第3の閲読者に判定を依頼することを含め、編集委員会が対応を判断します。

- 5) 2名の総合判定ともDの場合には、その理由を付けて著者へ返稿します。

- 6) 閲読は2回までとし、再閲読においてもCまたはDの判定がある場合には編集委員会が対応を判断します。

- (4) 閲読結果の総合判定をDとする理由は次のようなものです。

- 1) 既発表とみなされるもの。
- 2) 重要な部分に根本的な誤りがあるもの。
- 3) 事実に基づいた内容ではなく、単なる主観が述べられているに過ぎないもの（論文、研究ノートの場合）。

- 4) 通説が述べられているだけで、新しい知見が全くないもの（論文、研究ノートの場合）。

- 5) 修正を要する根本的な指摘事項を多く含んでいるもの。

- 6) 連載形式で構成されており、1編ごとに独立したものと認めがたいもの。

- 7) 全体構成や文章が粗雑で、内容の判定ができないもの。

- 8) 内容が本誌の趣旨に合わないもの。

- 9) その他、本誌に掲載する原稿としてふさわしくないもの。

6. その他

- 1) 共著者は全員が原稿に責任を負って下さい。共著者がいるにもかかわらず、その共著者が原稿を読んでないと判断されるような基本的なミスがある場合には、閲読を中止して返稿することがあります。

- 2) 英文については、投稿前に科学論文を執筆または校正をした経験を持つネイティブスピーカーの校閲を受けて下さい。

- 3) 修正原稿を返送する場合には、修正結果がすぐに分かるような回答書（指摘事項に対応した修正箇所・内容一覧）を作成し、添付して下さい。

- 4) 原稿は一度印刷公表されると永く評価と批判の対象となります。閲読意見に対しては極力冷静かつ慎重に対処して下さい。誤解があった場合には、その誤解を解くだけでなく、誤解を受けないような書き方に改める努力が求められます。

- 5) 「掲載不適」で返稿された原稿を再投稿する場合は新規投稿扱いとなります。「掲載不適」とした理由を十分に確認・検討の上、再投稿して下さい。

(2003.5.28改訂)

「土壌の物理性」閲読の手引き

1. 閲読依頼期限の厳守をお願い致します。万一、期限内に閲読が困難な場合には、速やかに編集委員会事務局へ連絡して下さい。
2. 「投稿案内」において、下のものを投稿原稿に求めています。閲読においても、これらをその基準とします。
 - (1) 内容について
 - 1) オリジナリティーがあること（論文、研究ノートの場合）。
 - 2) 本誌の読者にとって有益であること。
 - 3) 導入、研究手法から結論に至る過程に論理性があること。
 - (2) 表現について
 - 1) 原稿全体の構成が整っていること。
 - 2) 文章表現が適切であること。
 - 3) 表題が適切であること。
 - 4) 英文アブストラクトや和文要旨が適切であること。
 - 5) SI 単位や記号の使い方が適切であること。
 - 6) キーワードが適切であること。
 - 7) 英語の表現が適切であること。
3. 「掲載不適」とする理由としては、下のようなものが挙げられます。
 - 1) 既発表とみなされるもの。
 - 2) 重要な部分に根本的な誤りがあるもの。
 - 3) 事実に基づいた内容ではなく、単なる主観が述べられているに過ぎないもの（論文、研究ノートの場合）。
 - 4) 通説が述べられているだけで、新しい知見が全くないもの（論文、研究ノートの場合）。
 - 5) 修正を要する根本的な指摘事項を多く含んでいるもの。
- 6) 連載形式で構成されており、1編ごとに独立したものと認めがたいもの。
- 7) 全体構成や文章が粗雑で、内容の判定ができないもの。
- 8) 内容が本誌の趣旨に合わないもの。
- 9) その他、本誌に掲載する原稿としてふさわしくないもの。
4. 原稿の内容に対する責任はあくまで著者にあります。また、原稿の価値は読者が判断するものです。
5. 閲読は内容の批判や討議を行うものではありません。従って、見解の相違は掲載不適の理由にはなりません。
6. 閲読者は投稿者に対して研究指導する立場にありません。よって、新たな実験や計算の追加要求などは極力避けて下さい。
7. 閲読者は著者と直接折衝をしないで下さい。著者との交渉はすべて編集委員会の責任で行います。
8. 閲読者として知り得た印刷前の原稿の内容はいかなる形でも利用・引用等出来ません。厳にご注意下さい。
9. 著者に修正を求めた後に再閲読で総合判定を D（掲載不適）とすることは、閲読者にとっても著者にとっても非生産的です。完成度の低い原稿などにおいては、修正を求め再閲読を行うよりも「掲載不適」として練り直してから新たに投稿するよう促した方がよい場合があります。その場合には、「掲載不適」の理由（「3」参照）を明示して下さい。個別指摘事項への意見は不要です。
10. 閲読者から編集委員会へ意見等がある場合は、必ず「編集委員会への意見」として別紙への記入をお願いします。

(2003.5.28 改訂)

土壌物理学会学会賞規定

1. 種類 学会賞に論文賞と優秀ポスター賞をおく。
 2. 募集 論文賞の募集は年1回行い、学会誌「土壌の物理性」に公示する。
 3. 推薦
 - (1) 論文賞は正会員1名以上により推薦されたものを候補とする。
 - (2) 推薦は所定の書類を必要部数揃え、学会事務局へ提出する。
 - (3) 優秀ポスター賞については推薦を必要としない。
 4. 選考 学会賞の審査並びに選考は、選考委員会において行う。
 5. 表彰 論文賞は通常総会において表彰を行う。
 6. その他
 - (1) 論文賞の推薦がない場合も、選考委員会が適格論文の中から選考することができる。
 - (2) 論文賞に該当する論文は、「土壌の物理性」に、原則として受賞の前年4月1日から受賞年の3月31日までに掲載された原著「論文」を対象とする。
 - (3) 優秀ポスター賞の対象者は、土壌物理学会シンポジウムのポスター発表者（本人）とする。なお学生に限り会員外であっても対象に含める。
- (2002.11.23 制定 2003.11.22 改正)

土壌物理学会学会賞選考委員会規定

1. 目的 学会賞選考委員会（以下委員会という）は、論文賞及び優秀ポスター賞の選考を行うことを目的とする。
 2. 業務 委員会はずきの業務を行う。
 - (1) 学会賞規定に基づく論文賞及び優秀ポスター賞の選考。
 - (2) 土壌物理学会学会賞選考に関するその他の事項。
 3. 構成 委員会は委員長1名および委員5名程度を持って構成する。
 - (1) 委員会は正会員より構成される。
 - (2) 委員は評議員会の推薦に基づき総会で決定する。
 - (3) 任期は2年とする。ただし、再任はさまたげない。
 - (4) 委員長は委員の互選により選出する。
 - (5) 若干名の専門委員をおくことを認める。
 4. 開催 委員会は年3回程度開催する。
- (2002.11.23 制定 2003.11.22 改正)

土壌物理学会会員登録用紙 [入会・退会・登録事項変更]

必要事項をご記入の上、このまま下記宛先に（郵便，FAX，E-mail の添付ファイルなどで）お送り下さい。

届 出 内 容	入会・退会・登録事項変更
申 込 年 月 日	西暦 年 月 日
会 員 種 別	正・学生・購読・賛助
氏 名	
同上ローマ字読み	
性 別	男・女
生年月（西暦年・月）	西暦 年 月
勤 務 先	
勤務先所在地	〒
勤務先電話番号/FAX 番号	
勤務先 E-mail	
自 宅 住 所	〒
自宅電話番号/FAX 番号	
自宅 E-mail	
会誌の送付先	勤務先・自宅
本学会以外の主な所属学会	

本会記入

受付年月日：

承認年月日：

送付先・問い合わせ先

〒113-8622 東京都文京区本郷 3-22-5 住友不動産本郷ビル 7 階

財団法人 日本学会事務センター 研究者情報管理部

Tel. 03-5814-5810 FAX. 03-5814-5825

E-mail : bcasj-mem2@bcasj.or.jp

第46回 土壤物理学会シンポジウム（ご案内）

と き：2004年11月13日（土曜日）

ところ：岡山大学創立五十周年記念館多目的ホール（津島キャンパス）

〒700-8530 岡山市津島中1-1-1

参加費：1,000円（講演要旨集代）

1. シンポジウム

テーマ：「フィールドサイエンスと土壤物理 Field Science and Soil Physics」

フィールドは土壤物理の課題発掘の本源であり、土壤物理研究の使命はその成果を現地に有益な形で還元することにあります。しかし、フィールドそのものを対象とした研究と室内レベルの研究には、研究コンセプトに大きなギャップが存在しているのも事実です。フィールド研究の多様な研究成果に目を向け、今後の土壤物理研究のあり方を考えます。

2. ポスター・セッション

「土壤物理研究の最前線 Challenges in Soil Physics」

個人会員が土壤物理に関する最新、最先端の研究成果をポスター・セッション形式で発表するプログラムです。皆様の積極的な参加を歓迎いたします。発表様式などの詳細については学会ホームページをご覧ください。

3. 企業展示

土壤の状態と変化を計測する技術の開発は、土壤物理学が貢献すべきテーマの一つです。そこで、土壤物理学会に協賛頂いている企業の方々、あるいは関係企業の方々に参加を呼びかけ、最新の計測機器やセンサーなどを紹介して頂き、理論と実際の隙間を埋めるような土壤物理の計測技術に関する情報交換の場を提供いたします。（展示参加費：無料）

4. 情報交換会

5. 参加・発表申込み方法、プログラム

学会ホームページに掲載します。

問い合わせ先

土壤物理学会事務局（庶務幹事）

〒514-8507 三重県津市上浜町 1515

三重大学 生物資源学部

成岡 市

Tel/Fax. 059-231-9574/E-mail : narioka@bio.mie-u.ac.jp

学会ホームページ

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/index.html>

2003（平成 15）年度 土壤物理学会賞候補の推薦（公募）

土壤物理学会では、下記の要領で学会賞候補（推薦）を公募いたします。

記

学会賞種類：論文賞

対象論文：2003（平成 15）年度に「土壤の物理性」（第 94，95，96 号）に掲載された「論文」（original paper）

推薦期限：2004（平成 16）年 8 月 31 日（火），消印有効

推薦書様式：様式などの詳細は下記の事務局幹事までお問い合わせ下さい
表 彰：2004（平成 16）年 11 月

土壤物理学会学会賞選考委員会

問い合わせ先：

土壤物理学会事務局庶務幹事，成岡 市

〒514-0005 三重県津市上浜町 1515，三重大学生物資源学部

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/index.html>

その他：

学会賞候補の推薦に当たっては、「学会賞規定」「学会賞選考委員会規定」（本誌冒頭の黄色項に掲載）をご確認下さい。

生き残りをかけて

筑紫二郎*

最近の土壌物理学を取り巻く環境には、厳しいものがある。国立大学は、国立の研究機関に続き本年4月1日から独立法人化されたが、これによって大学の教育と研究に対する評価が益々厳しくなると思われる。学問の専門領域間で競争が起こり、発展する学問と衰退する学問との差が顕著になってくる。農学内の趨勢をみても、生命科学が膨張する一方、フィールド科学（土壌物理学はこれに入る）の衰退が起きてきている。また、食糧自給率の低下に象徴されるように、農学自体学問としての重要性の低下が明確になってきている。現在政府が進めているいろいろな国との自由貿易協定が成立するにつれ、その傾向は益々強くなると思われる。

現実問題として、土壌物理学分野の縮小が起こり始めていると感じる。土壌物理学学会会員数、国立研究所における土壌物理学の研究者数、大学における土壌物理学の教員及び学生数いずれにおいても、減少が見られる。大学では、学生の能力の低下も問題になっている。法人化後は組織の長が人事権を持ち、存在意義の少ないの学問分野の定員は削られる運命にあり、すでにその徴候は大学や国立の研究機関で出てきている。

従来から、このような学会の困難な状況は指摘され、これまでもいろいろな場面で、論文の啓蒙、環境問題とりわけ土壌汚染問題への積極的な取り組み、生物及び化学分野との協力など学会の新たな方向性が示されてきた。しかしながら、改革は急に進むものでなく、急変を求める外圧によって学会員の不安は高まっている。「不安の解消に何をなすべきか」を考えることは今後の学会活動と大きく関わっており、重要なことである。この不安解消につながると思われる活動をいくつか考えてみる。

第一は、外圧に左右されず、マニアックな研究、つまり基礎的研究を継続することである。基礎的な成果は、学会オリジナルとして他の学問分野に影響を及ぼし、土壌物理学の評価を高める。学問間には本来強弱が存在し、ポテンシャルの高い学問から低い学問へと知的財産が流れていく傾向がある。これは国と国との間の貿易関係に似ていて、知的情報の発信・受信によって学問の評価が位置づけられる。とかく、昨今は種々の評価が叫ばれ、やたらといろいろなことに手を出すことが多いが、腰の据わった研究者の存在は一種の安堵感を与えてくれる。仏教で「一隅を照らす」という言葉があるが、ある種の「専門バカ」の存在は貴重である。

第二に、新たに応用の途を拓くことである。土壌物理学は従来から農学の一分野に位置づけられてきた。そのため、応用面では灌漑排水時の水移動と密接に関連し、その方面の応用に限られてきた。しかし、農地以外の土壌でも起きている現象は同じであり、土壌物理学で培ってきたノウハウは今話題になっている土壌環境問題に役立つものである。土壌環境問題は、土壌内で生じる物理現象以上に化学的及び生物学的現象として捉えられることが多い。土壌の環境問題を研究するには、周辺学問との連携が不可欠である。さらに応用面を発展させるには、健康・安全・快適さといった人間の生活に対して土壌物理学が如何に貢献できるかを考える必要がある。つまり、防災への貢献、緑化技術への貢献はもちろん、環境調節に対する応用技術の展開など、深く考えればいろいろな応

用の途が拓かれるものと確信する。土壌物理学の応用的な展開は学会の存在意義を高める。

第三に、若手の研究者を育てることである。数多くの魅力的な他分野に対抗して、優秀な学生を集め研究者として育てることは難しいが、まず、学生に魅力を感じさせる教育が必要である。その際、古い世代が行って来たような、演繹的な学習法（基礎学問から習熟し始める方法）を押しつけるよりも、帰納的方法（個々の現象を知ることから始める）と演繹的方法とを組み合わせた教育法が有効と思われる。学部学生のような土壌物理学への入門者には、最初にフィールドで土壌を観察させたり、数値計算で物質輸送の現象を模擬して見せることから始める。興味を引きつけた後に、現象がなぜ起こるかについて演繹的にしっかりした勉強をするように指導する。ここ数10年のコンピュータ技術の発達はあらゆる学問に影響を及ぼし、学問のスタイルを変えてきた。土壌物理分野においても、新しい種々の計測法や解析法においてコンピュータは欠かせないものになっている。最近、一部の先生方で、不飽和土壌中の物質移動ソフト（HYDRUS）を啓蒙普及させようと努力がなされている。このような取り組みは、若手研究者の興味を喚起するものとして高く評価されるべきである。

土壌物理学を取り巻く状況は依然厳しいが、結局は土壌物理学は生き残ることになるだろう。生物にとって、土、水、空気は生存に不可欠のものであり、土壌物理学はこれら3つの要素を含む学問なのである。しかしながら、従来の方法の踏襲だけでは、土壌物理学の将来は覚束ない。他の学問同様、変革が求められており、将来をどのように持って行くかは、学問に携わっている研究者、学会員諸兄の叡智を結集して考えていかねばならない。上述の3つの活動は互いに矛盾するところがあり、一人の研究者がすべてを担うものではない。政治改革には、昔から15年かかると言われており、学問もそのような長いスパンの改革が必要である。また、一方で学会には種々のタイプの研究者を受け入れる寛容さも備わっていなければならないと考える。

Field Estimation of Soil Dry Bulk Density Using Amplitude Domain Reflectometry Data

Krissandi WIJAYA*, Taku NISHIMURA*, Makoto KATO* and Masanobu NAKAGAWA**

* Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

** Ryokusei Kenkyusho Inc., 2-40-10 Kojima, Chofu, Tokyo 182-0026, Japan

Abstract

Since permeability of field soils is strongly affected by dry bulk density, knowledge of spatial distribution of dry bulk density is beneficial to predict water and chemical transport through soils. In this study, field soil dry bulk density was estimated by using Amplitude Domain Reflectometry (ADR) data. The experiment was sited at the Sakae-cho experimental field of Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT) covered by Andisol soil. The field of 4 × 4 m in large was divided into 81 small plots of 0.5 × 0.5 m each. The ADR probe was operated in every small plot, and the ADR output voltage was measured by using digital voltmeter. Soil samples were taken by using the steel ring of 100 cm³ in volume. The results showed that the estimated dry bulk density agreed well with the measured dry bulk density. The regression coefficient (R^2) ranged from 0.4 to 0.7. Dry bulk density estimated by using the ADR data and wet bulk density ($R^2=0.5-0.7$) had greater accuracy than that by using the ADR data and mass wetness ($R^2=0.4-0.6$). Furthermore, spatial variability, which was expressed by semivariogram, of the measured and the estimated dry bulk density by using the ADR data and wet bulk density agreed well. However, spatial variability of the dry bulk density estimated by using the ADR data and mass wetness showed different trend to others. This indicated that the estimated dry bulk density with wet bulk density had better performance to predict dry bulk density than that with mass wetness.

Key words : Dry bulk density, ADR, Andisol, Spatial variability, Semivariogram

1. Introduction

Field soil physical properties are quite variable, both in vertical and horizontal directions. Beside, these properties also vary with time. Since soil physical properties play a central role in transport and reaction of water, solutes, and gases in soils, knowledge of spatial variability of soil physical properties is very important for understanding transport phenomena in soils, hence, for soil conservation and planning appropriate agricultural practices. More specifically, knowing field soil dry bulk density would help in scaling other important soil physical properties, i.e., predicting soil permea-

bility as a function of dry bulk density by using non-similar media concept (NSMC) method (Miyazaki, 1996). The soil permeability data can be used to determine the better K factor of Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier and Smith, 1978). However, measurement of the field-spatially-distributed soil parameters tends to be difficult and complicated, such as time consuming, laborious and expensive (Zorita *et al.*, 2001). Therefore, the use of a proper method to measure field soil physical properties with low cost, simple and quick method is required.

Amplitude Domain Reflectometry (ADR) probe is one of the methods for measuring

Table 1 Soil physical properties

Soil parameters	First field experiment (Sakae-cho soil)	Second field experiment (Sakae-cho soil)
Texture (kg kg^{-1}): sand	0.29	0.29
silt	0.37	0.37
clay	0.34	0.34
	} Light Clay (LiC)	} Light Clay (LiC)
Mass wetness, w (%)	60-93	60-88
Dry bulk density, ρ_b (g cm^{-3})	0.49-0.66	0.49-0.68
Volumetric water content, θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.35-0.52	0.36-0.52

volumetric soil water content based on measurement of dielectric constant of the soil (Gaskin and Miller, 1996; Robinson *et al.*, 1999; Inoue, 1998a, 1998b; Nakashima *et al.*, 1998). The ADR probe has a similar performance to other permittivity methods, such as Capacitance Insertion Probe (CIP) and Time Domain Reflectometry (TDR) probe (Miller and Gaskin, 1996; Nakashima *et al.*, 1998). However, the ADR probe has advantages over the latter probes, and it is relatively cheaper and simpler automatic measuring system compared to the CIP and the TDR (Nakashima *et al.*, 1998). In other word, since the ADR output is direct current voltage, it can be simply connected to the commercial multi-channel logger to monitor changes in soil water content. Practically, the ADR probe was successfully applied to a project, which tries to investigate the impact of land use changes on catchments behavior, specifically hydrology and hydrochemistry (Miller and Gaskin, 1996).

In recent decades, special attention has been focused on field spatial variability of soil physical properties. Geostatistics, which involves the theory of regionalized variable, is being extensively used to characterize the structure of these variabilities (Tominaga *et al.*, 2002). The regionalized variable is a property such as soil moisture content, dry bulk density, hydraulic conductivity, etc., which can be sampled. Accordingly, the properties (or samples) taken at close spacing will be similar or spatially correlated, while the properties from large sample spacing will be dissimilar or

spatially uncorrelated (Isaaks and Srivastava, 1989). The phenomena above can be clearly clarified by using semivariogram as one of the most common geostatistics tools, which can quantify the spatial dependence and spatial structure based on distance of separation and direction (Scot, 2000), and, in turn, it is essential to design of optimal sampling grids and interpolation methods (Isaaks and Srivastava, 1989).

Objective of this presenting study was to estimate the field soil dry bulk density by using the ADR data.

2. Materials and Methods

2.1 Soil Materials

The field experiment was located at the Sakae-cho experimental field of Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Japan. The Andisol field of 4×4 m in large was divided into 81 small plots (9 rows and 9 columns) with 0.5×0.5 m each. The physical properties of the soil are shown in Table 1.

2.2 Experimental Procedures

The field experiment was conducted two times, such as in July 2000 (first field experiment) and December 2000 (second field experiment). In each experiment, core samples and the ADR data were collected from every small plot. Soil core samples were taken by using the steel ring of 100 cm^3 in volume. The ADR data were collected by embedding the ADR probe of 60 mm in length into the field soil and the ADR output voltage was measured by using digital voltmeter. The embedding of the ADR probe was replicated three times surrounding the soil

core sample location and averaged. To stabilize the ADR output signals, the embedding the ADR probe was kept for 20 to 30 seconds. Since the field contains 81 small plots, the amounts of samples were totally 81 soil core samples and 81 the ADR data for each experiment. All soil core samples were brought to the laboratory and several soil parameters such as mass wetness, wet bulk density, dry bulk density, and volumetric water content were measured by using gravimetric method.

In addition, the first field experiment was conducted on field soil having dry layer at the surface. However, it was expected that the presence of surface dry layer might enhance heterogeneity in soil moisture distribution within the field profile, which affects the ADR performance (Wijaya *et al.*, 2002). To improve the ADR performance, therefore, in the second field experiment, the surface dry layer of a cm in thickness by observation was removed prior to the ADR measurement and the soil core sampling. Such treatment resulted in relatively less heterogeneity in moisture content distribution within the field profile.

2.3 Calculation of Dry Bulk Density with ADR Data

Dry bulk density can be calculated as function of volumetric water content measured by using the ADR probe (θ_{ADR}) combined with either wet bulk density (Eq. (1)) or mass wetness (Eq. (2)),

$$\rho_{best1} = \rho_t - (\theta_{ADR} \cdot \rho_w) \quad (1)$$

$$\rho_{best2} = \left(100 \frac{\theta_{ADR}}{w}\right) \cdot \rho_w \quad (2)$$

where, ρ_{best1} is the estimated dry bulk density with wet bulk density (g cm^{-3}), ρ_{best2} is the estimated dry bulk density with mass wetness (g cm^{-3}), ρ_t is the wet bulk density (g cm^{-3}), ρ_w is the density of water ($=1 \text{ g cm}^{-3}$), θ_{ADR} is the volumetric water content measured by using the ADR probe ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), w is the mass wetness (%). Eq. (2) is multiplied with 100 to convert the mass wetness by percentage to that by decimal form.

Application of the ADR method, which involves the use of either Eq. (1) or (2), in estimating dry bulk density from volumetric water content measured by using the ADR probe (θ_{ADR}) offers more benefits compared to traditional oven drying method such as simple, less labor and less time consuming. Wijaya *et al.* (2003) reported that to obtain dry bulk density by using Eq. (1) needs only the information of soil wet mass (weight) occupying the known volume of core sample and it is not necessary to spend a day to oven dry the sample. Also, only a small fraction of the disturbed soil sample, less than 10 grams, which is used to measure mass wetness, is required to estimate the dry bulk density by using Eq. (2). Therefore, the ADR method helps us to perform easy, quick, and less labor determination of field soil dry bulk density, especially when large numbers of data are required.

The θ_{ADR} data, which is substituted into Eq. (1) and (2) was obtained from the third order polynomial equation (Eq. (3)) as a result of calibration between the ADR output voltage and volumetric water content of the Andisol soil (Wijaya *et al.*, 2003). The dry bulk density was ranged from 0.39 to 0.96 g cm^{-3} during the calibration, which was performed on the soil with mass wetness ranged from 40 to 70 %.

$$\theta_{ADR} = 0.00111 + 1.531v - 2.342v^2 + 1.448v^3 \quad (3)$$

where, v is the ADR output voltage (volt).

2.4 Semivariogram

Generally, classical measures of location such as arithmetical mean (M), and spread of data such as standard deviation (Std. Dev.) and coefficient of variation (CV) are used to evaluate statistical characteristics of the sample population, which can be described as the frequency distribution. However, the frequency distribution is somewhat limited in its ability to describe variability of a sampled population because it does not provide any information about spatial correlation between samples at a given location.

To solve the problem above, semivariogram, which can express the degree of spatial dependence between two samples at a given separation distance and direction, has been used to characterize spatial variability of hydraulic conductivity (Mohanty, *et al.*, 1994 ; Ciolarro and Romano, 1995), soil water content and dry bulk density (Tominaga *et al.*, 2002), soil water content and solute concentration (Netto *et al.*, 1999), soil organic matter, NO₃-N, pH and electric conductivity (Imade, *et al.*, 2001). It can be defined as a graph (and/or formula) describing the expected difference in value between pairs of samples with a given relative distance and direction (Clark, 1979). The vertical axis is semivariance, $\gamma(h)$ and the horizontal axes is distance between two data points, h . For one-dimensional data, the $\gamma(h)$ value at given position can be computed by the following equation,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \quad (4)$$

where, $N(h)$ is the number of data pairs separated by the lag interval h , $z(x_i)$ is the measured sample value at point x_i , and $z(x_i+h)$ is the measured sample value at a distance h from x_i .

3. Results and Discussions

3.1 Comparison between Estimated and Measured Dry Bulk Density

Figure 1 shows comparison between the estimated dry bulk density by using Eq. (1) and the measured dry bulk density, including data obtained from the first and the second field experiment. As can be seen from the figure, the estimated and the measured data points were laid on and concentrated around 1:1 regression line. It indicated that the ρ_{best} fitted well with the ρ_{bmsr} . The estimated dry bulk density obtained from the second field experiment tended to be more reliable than that from the first field experiment. The regression coefficient (R^2) was 0.674 and 0.466, for the second and the first field experiment, respectively. Cor-

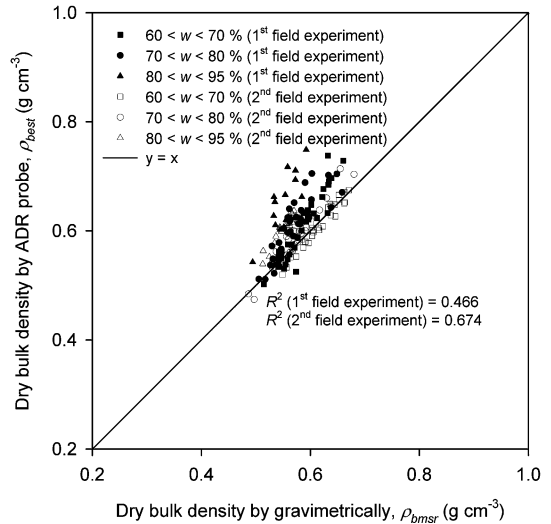


Fig. 1 Comparison between the estimated dry bulk density by using Eq. (1) and measured dry bulk density.

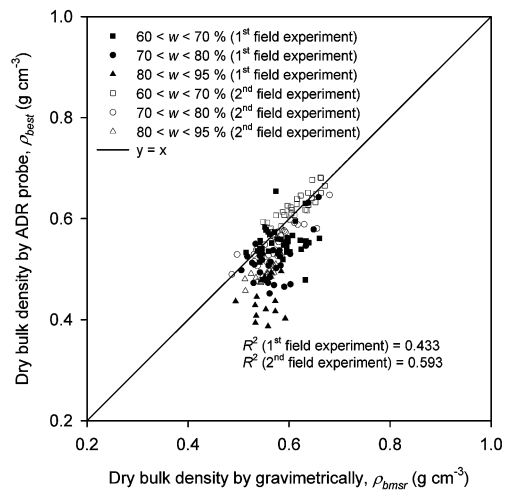


Fig. 2 Comparison between the estimated dry bulk density by using Eq. (2) and measured dry bulk density.

respondingly, the root mean square error (RMSE) value between the ρ_{bmsr} and the ρ_{best} by using Eq. (1) was 0.032 and 0.059 g cm⁻³, for the second and the first field experiment, respectively.

Figure 2 shows comparison between the estimated dry bulk density by using Eq. (2) and

the measured dry bulk density, including data from the first and the second field experiment. Unlike the results shown in Fig 1, the estimated and the measured data points shown in Fig 2 were slightly deviated from and scattered around 1 : 1 regression line. It indicated that the ρ_{best} tended to be underestimated and less agreed with the ρ_{bmsr} . The estimated dry bulk density from the second field experiment was better than that from the first field experiment, however, it still showed lower accuracy compared to the results of Eq. (1) as shown in Fig 1. In Fig 2, the R^2 was 0.593 and 0.433, for the second and the first field experiment, respectively. The RMSE value between the ρ_{bmsr} and the ρ_{best} by using Eq. (2) was 0.039 and 0.074 g cm^{-3} , for the second and the first field experiment, respectively.

Difference in accuracy between the estimated dry bulk density obtained from the first and the second field experiment was due to difference in the surface treatment among them. The presence of the surface dry layer of a cm thickness in the first field experiment, which enhanced greater heterogeneity in soil moisture distribution within the field profile, could reduce the ADR performance. The surface dry layer might be produced mainly through evaporation process especially in the bare field soil. Greater the thickness of the dry layer in the soil, greater the vertical heterogeneity in soil moisture distribution within its profile, which, in turn, enhances the error of the ADR output (Wijaya, *et al.*, 2002). The field soil with removal of surface dry layer in which the ADR probe and the core sample was embedded had more uniform in soil moisture distribution than that with a surface dry layer (first field experiment). Therefore, the errors of the ADR output could be reduced when the ADR probe was applied on such soil.

Comparison between the results shown in the Fig 1 and 2 showed that the estimated dry bulk density with the wet bulk density had greater accuracy than that with the mass wetness. Difference in calculation process between

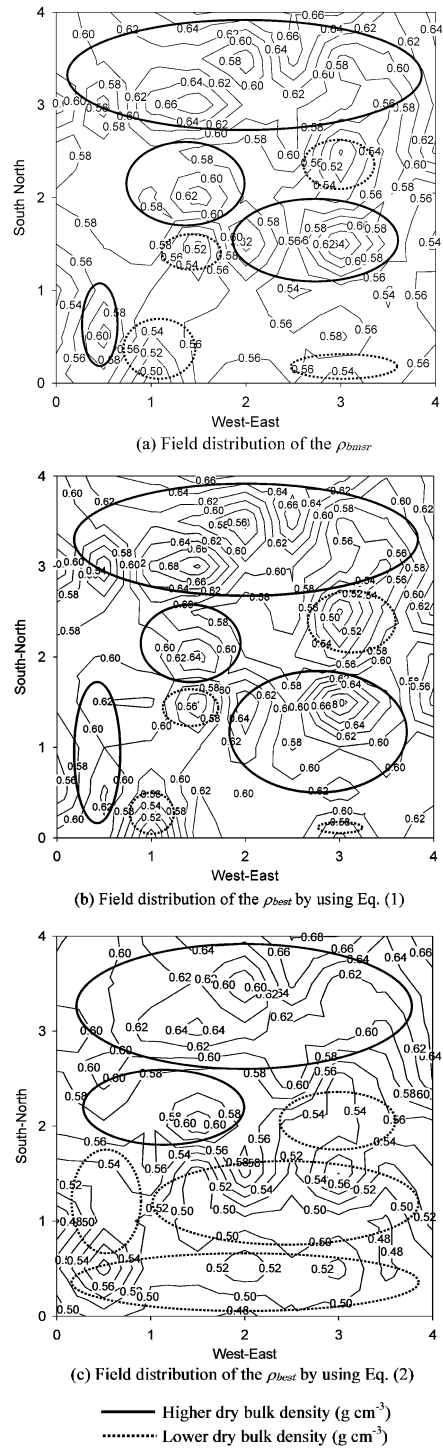


Fig. 3 Field distribution of soil dry bulk density for the second field experiment: (a) the ρ_{bmsr} (b) the ρ_{best} by using Eq. (1), and (c) the ρ_{best} by using Eq. (2).

Eq. (1) and (2) could be a primary factor affecting the results. The Eq. (2) is a division formula, thus, when the θ_{ADR} containing an error was substituted into this equation, running the division process might increase the error in ρ_{best} since denominator (w) was smaller than unity. This error was relatively greater compared to the case when the θ_{ADR} data were substituted into Eq. (1) (Wijaya *et al.*, 2003). Therefore, the greater accuracy of θ_{ADR} was very important to enhance the greater accuracy of ρ_{best} .

3.2 Field Distribution of Dry Bulk Density

Field distribution of dry bulk density at the second field experiment is shown in Fig 3, which is consisted of (a) measured, (b) estimated by Eq. (1) and (c) estimated by Eq. (2). As can be seen from the figures, the distribution of the cloud of data points for the ρ_{best} was similar with that for the ρ_{bmsr} . The greater values of ρ_b were dominantly contoured around the northern part of the field from west to east, and the middle of the field. The lower values of ρ_b spread out around southern-western part, southern-eastern part and middle of the field. The greater values of ρ_b ranged from 0.58 to 0.68 $g\ cm^{-3}$, while the lower values of ρ_b ranged from 0.48 to 0.54 $g\ cm^{-3}$.

Degree of similarity between the distribution of the ρ_{best} by using either Eq. (1) or (2) and that of the ρ_{bmsr} are shown in Fig 4 (a) and 4 (b), respectively. According to the figures, the similarity can be simply evaluated by the contour of the square difference in data points between the ρ_{best} and ρ_{bmsr} , which was expressed as the errors of ρ_{best} . The errors of the ρ_{best} by using Eq. (2) (Fig 4 (b)) were greater than that by using Eq. (1) (Fig 4 (a)). The errors ranged from 0.0005 to 0.0055 $g\ cm^{-3}$ and from 0.0005 to 0.0040 $g\ cm^{-3}$, for the ρ_{best} by using Eq. (2) and (1), respectively. These errors were mostly distributed around the southern part of the field from west to east, due to the greater errors of θ_{ADR} at the same area (Fig 5). Since accuracy of the ADR probe is strongly affected by volumetric water content distribution along with sensing rods (Wijaya *et al.*, 2002), it was suspected that some

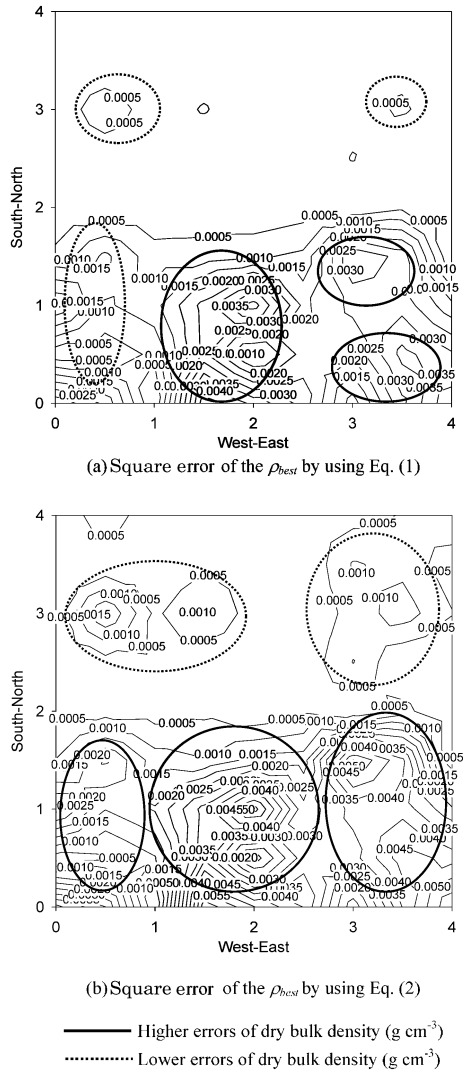


Fig. 4 Square error distribution of the estimated dry bulk density : (a) square error of the ρ_{best} by using Eq. (1), and (b) square error of the ρ_{best} by using Eq. (2).

vertical heterogeneity in moisture or dry bulk density might be occurred at southern part of the field. Error distribution of the θ_{ADR} around the northern part was very small, and only small error distribution of the ρ_{best} was encountered at the same location. It indicated that the θ_{ADR} accuracy was an important factor in the estimation of dry bulk density.

3.3 Spatial Variability of Dry Bulk Density

Statistical values for the measured and the estimated soil physical properties, including mass wetness, w , measured volumetric water content, θ_{msr} , estimated volumetric water content, θ_{ADR} , measured dry bulk density, ρ_{bmsr} and estimated dry bulk density, ρ_{best} by using either Eq. (1) or (2) are summarized in Table 2. Coefficient of variation (CV) for all the measured and the estimated soil physical properties obtained from the first and the second field experiment

ranged from 3.3 to 10.9 %. According to these CV values, all the soil physical properties above were confirmed relatively low variability (Wilding, 1985 ; Scot, 2000). The greater CV values occurred on mass wetness, w , ρ_{best} by using Eq. (2) and θ_{msr} , while the lower CV values occurred on the θ_{ADR} , ρ_{bmsr} , and ρ_{best} by using Eq. (1). From Standard Deviation (Std. Dev.) value, it was also clear that the ρ_{bmsr} and ρ_{best} by using Eq. (1), especially for the second field experiment, were not significantly different and considered to be similar each other. However, the Std. Dev. value for the ρ_{best} by using Eq. (2) was distinctly different to the two previous parameters. It indicated that the ρ_{best} by using Eq. (1) had similar variability with ρ_{bmsr} , while the ρ_{best} by using Eq. (2) did not.

Another aspect in performance of presenting method was discussed by evaluation on spatial variability of the dry bulk density, which was carried out by semivariogram (Fig 6 (a), (b) and (c)). In these three figures, semivariance were plotted within distance between two points ranged from of 0.5 to 2 m. From the trend of semivariance, the ρ_{bmsr} (Fig 6 (a)) and the ρ_{best} by using Eq. (1) (Fig 6 (b)) were similar. Although the ρ_{bmsr} tended to show smaller semivariance, both the ρ_{bmsr} and ρ_{best} by using Eq. (1) showed steady semivariance with increasing distance between two points. It indicated that the ρ_{bmsr} and the ρ_{best} by using Eq. (1) had similar struc-

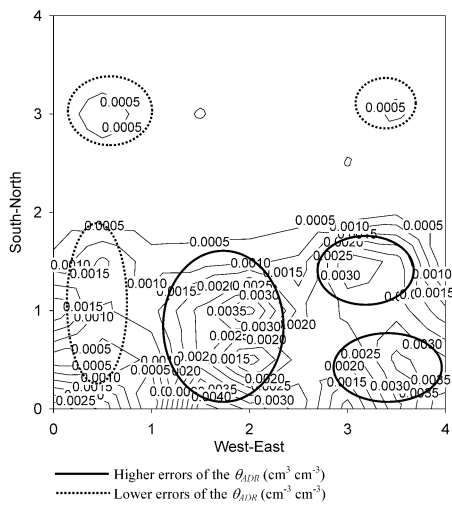
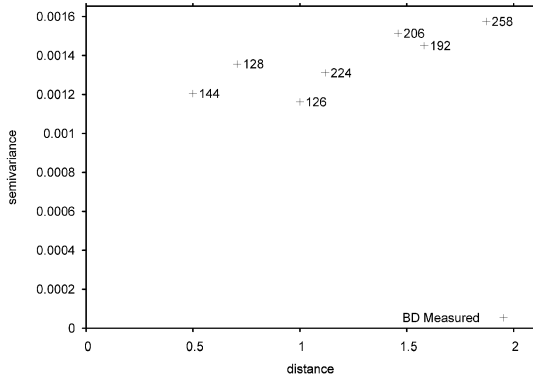


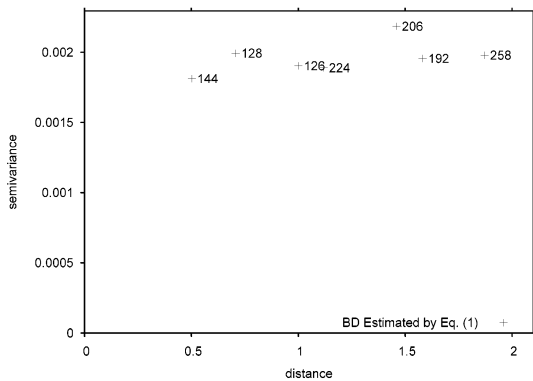
Fig. 5 Square error distribution of the volumetric water content measured by using the ADR data (θ_{ADR}).

Table 2 Statistical values for the field soil physical properties

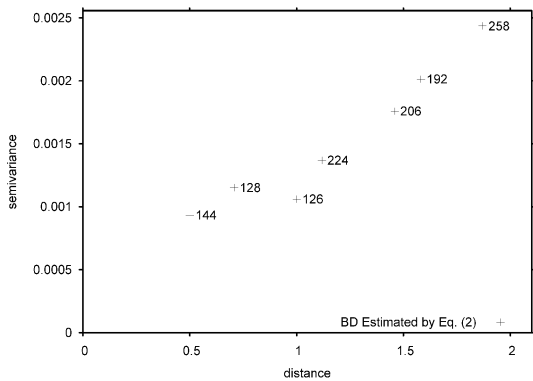
Variables	First field experiment			Second field experiment		
	Mean	Std. Dev.	CV (%)	Mean	Std. Dev.	CV (%)
Mass wetness, w (%)	73.442	7.995	10.89	74.378	7.424	9.98
Measured volumetric water content, θ_{msr} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.420	0.045	10.63	0.432	0.033	7.72
Estimated volumetric water content, θ_{ADR} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.379	0.031	8.07	0.414	0.014	3.27
Measured dry bulk density, ρ_{bmsr} (g cm^{-3})	0.573	0.036	6.38	0.583	0.042	7.25
Estimated dry bulk density by using Eq. (1), ρ_{best1} (g cm^{-3})	0.614	0.060	9.78	0.600	0.043	7.19
Estimated dry bulk density by using Eq. (2), ρ_{best2} (g cm^{-3})	0.520	0.056	10.68	0.562	0.059	10.64



(a) Semivariogram of the ρ_{bmsr}



(b) Semivariogram of the ρ_{best} by using Eq. (1)



(c) Semivariogram of the ρ_{best} by using Eq. (2)

Fig. 6 Semivariogram of the measured and estimated dry bulk density: (a) semivariogram of the ρ_{bmsr} (b) semivariogram of the ρ_{best} by using Eq. (1), and (c) semivariogram of the ρ_{best} by using Eq. (2) (numbers in the figures are the number of data pairs for a given lag interval h).

ture of spatial distribution over space. However, the semivariogram of ρ_{best} by using Eq. (2) (Fig 6 (c)) monotonously increased with increasing distance between two points and did not reach a constant value. Results above suggested that the characteristic of spatial distribution of the ρ_{bmsr} agreed well with that of the ρ_{best} by using Eq. (1) and did not agree with that of ρ_{best} by using Eq. (2).

4. Conclusions

Application of the ADR data on estimation of field dry bulk density showed good results. The ρ_{best} by using Eq. (1), combined with wet bulk density data, was better than that by using Eq. (2) with mass wetness. Furthermore, since higher uniformity in soil moisture distribution can reduce the errors of the ADR probe measurement, the second field experiment in volving removal of the surface dry layer yielded the greater accuracy of dry bulk density estimation compared to the first field experiment, which was conducted with a surface dry layer.

According to the results of semivariogram, it was found that characteristic of spatial distribution of the ρ_{best} by using Eq. (1) was similar to that of the ρ_{bmsr} . However, the ρ_{best} by using Eq. (2) showed different structure of spatial variability to that of the ρ_{bmsr} and the ρ_{best} by using Eq. (1). Therefore, Eq. (1) was expected to be useful to estimate soil dry bulk density.

This method can serve reasonable quality of dry bulk density data with saving either time or amount of soil sample. Employing Eq. (1) can estimate dry bulk density by taking and weighing sample in situ, while using Eq. (2) requires taking less than 10 grams of soil sample for a dry bulk density data. For some purpose, i.e. taking large number of dry bulk density data for vast area, this method may partly substitute traditional oven drying method with undisturbed sample which requires labor and be time consuming.

Acknowledgement

This study was supported by Grants-in-Aid for Scientific Research by Japan Society of the Promotion of Science : No. 2001-13760169. Also, in conducting field experiments the authors would like thank to the help offered by students of Laboratory of Land Use, Tokyo University of Agriculture and Technology.

References

- Ciollaro, G. and Romano, N.R. (1995) : Spatial variability of the hydraulic properties of a volcanic soil, *Geoderma*, **65** : 263-282.
- Clark, I. (1979) : Practical geostatistics, pp. 1-60, Applied Science Publisher Ltd, London, UK.
- Gaskin, G.J. and Miller J.D. (1996) : Measurement of soil water content using simplified impedance measuring technique, *J. Agric. Eng. Res.*, **63** : 153-60.
- Imade, A. S. W., Shibushawa, S., Sasao, A. and Hirako, S. (2001) : Soil parameter maps in paddy field using the real time soil spectrophotometer, *J. of the Japanese Society of Agriculture and Machinery*, **63** : 51-58.
- Inoue, M. (1998 a) : Evaluation of measuring precision of field-type dielectric soil moisture probes using salty sand, *J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.*, **11** : 555-564.
- Inoue, M. (1998 b) : Monitoring system for flow and solute transport, *Sand Dune Research*, **45** (1) : 15-25.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. (1989) : An Introduction to Applied Geo-statistics, Oxford University Press, Oxford, USA.
- Miller, J.D. and Gaskin G.D. (1996) : Theta probe ML2x. principle of operation and applications (2nd edition), Macaulay Land Use Research Institute (MLURI), Aberdeen, UK.
- Miyazaki, T. (1996) : Bulk density dependence of air entry suctions and saturated hydraulic conductivities of soils, *Soil Science*, **161** : 484-490.
- Mohanty, B.P., Ankeny, M.D., Horton, R. and Kanwar, R.S. (1994) : Sapatial analysis of hydraulic conductivity measured using disc infiltrometers, *Water Resour. Res.*, **30** : 2489-2498.
- Nakashima, M., Inoue, M., Sawada, K. and Nicholl, C. (1998) : Measurement of soil water content by Amplitude Domain Reflectometry (ADR) : Method and its calibrations, *J. Groundwater Hydrology*, **40** : 509-519.
- Netto, A.M., Pieritz, R.A. and Gaudet, J.P. (1999) : Field study on the local variability of soil water content and solute concentration, *J. Hydrology*, **215** : 23-37.
- Robinson, D.A., Gardner, C.M.K. and Cooper, J.D. (1999) : Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, Capacitance and Theta Probe : Comparison, including the effect of bulk soil electrical conductivity, *J. Hydrology*, **223** : 198-211.
- Scott, H.D. (2000) : Soil physics : agricultural and environmental applications, pp. 356-378, Iowa State University Press, Iowa, USA.
- Tominaga, T.T., Cassaro, F.A.M., Bacchi, O.O.S., Reichardt, K., Oliviera, J.C.M. and Timm, L.C. (2002) : Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field, *Aust. J. Soil Res.*, **40** : 605-614.
- Weishmaier, W.H. and Smith, D.D. (1978) : Predicting rainfall erosion losses, USDA Agriculture Handbook 573, U.S. Department of Agriculture.
- Wijaya, K., Nishimura, T. and Kato, M. (2002) : Effect of variability in moisture content profile on the ADR probe performance, pp. 272-273, *Proceeding of JSIDRE Annual Meeting, Mie, Japan, 6-8 August 2002*.
- Wijaya, K., Nishimura, T. and Kato, M. (2003) : Estimation of dry bulk density of soil using amplitude domain reflectometry, *J. Jpn. Soc. Soil Phys.*, **95** : 63-73.
- Wilding, L.P. (1985) : Spatial variability : its documentation, accommodation and implication to soil survey, pp. 166-194, In D.R. Nelsen and J. Bouma (ed.) *Soil spatial variability*, Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Zorita, M.D., Grove, J.H. and Perfect, E. (2001) : Laboratory compaction of soils using a small mold procedures, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **65** : 1593-1598.

ADR 水分計のデータを用いた不かく乱土壌の乾燥密度推定に関する研究

クリサンディ ウィジャヤ*・西村 拓*・加藤 誠*・中川雅允**

* 東京農工大学農学部 〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

** 株式会社緑生研究所 〒182-0026 東京都調布市小島 2-40-10

要 旨

ADR 水分計で測定した体積含水率と湿潤密度または含水比を用いて不かく乱土壌の乾燥密度の推定を試みた。実験は東京農工大学栄町圃場で2回行った。50 cm 間隔で9×9の格子状の点で不かく乱土壌のサンプリングと ADR 水分計の測定を行った。2回目の実験では地表面の乾燥層(約1 cm)を除去してからサンプリングならびに測定を行った。乾燥密度の推定値は相関係数(R^2)が体積含水率と湿潤密度を用いた推定値が0.5から0.7, 含水比と体積含水率を用いた推定値が0.4から0.6と実測値とかなり良く一致した。ADR 水分計の測定値と炉乾燥による実測値の差と併せて考察すると, ADR 水分計の精度が乾燥密度推定の精度に影響することがわかった。また, 地表面の乾燥層の有無が ADR 水分計の精度に影響を与えさらには乾燥密度の推定精度に影響することがわかった。セミバリオグラムを求めたところ, ADR 水分計データと湿潤密度を使って推定した乾燥密度は実測値と同様の空間分布特性を持っていた。以上の結果から, ADR 水分計と湿潤密度を用いた不かく乱土壌の乾燥密度推定はかなりよい結果を与えらる。

キーワード: 乾燥密度, 誘電率, ADR, 火山灰土壌, 体積含水率

受稿年月日: 2003年9月16日

受理年月日: 2004年2月17日

滞留 NAPL 量推定のための分配トレーサー試験 (PITT) の適用性について

西脇淳子*・唐 常源**・佐倉 保夫**・溝口 勝*・宮崎 毅*

Precision analysis of Partitioning Interwell Tracer Test
 for estimating a NAPL in aquifer

Junko NISHIWAKI*, Changyuan TANG**, Yasuo SAKURA**
 Masaru MIZOGUCHI* and Tsuyoshi MIYAZAKI*

* Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

** Graduate School of Science and Technology, Chiba University

Abstract

Partitioning Interwell Tracer Test (PITT) developed in the petroleum industry is a useful method to quantify the volume of Non-aqueous phase liquid (NAPL) in contaminated aquifer. PITT provides us information about the characterization of the NAPL volume and distribution in relatively large scale area. When we perform PITT, we use the basic assumption that tracers are partitioned to NAPL completely during PITT. However, the assumption is not verified yet. Under practical conditions, we have to be careful of (1) loss of NAPL during PITT, (2) NAPL migration process, (3) sorption of NAPL to organic materials or minerals in aquifer, (4) inhomogeneous tracer partitioning to NAPL because of the heterogeneous NAPL distribution and form, (5) accuracy of measuring tracer partitioning coefficients. The purposes of the study are (1) to estimate the unknown quantity of NAPL placed in a column filled with glass beads and water, and in a pipette filled with water, and (2) to analyze the accuracies of these estimations by PITT method. As a result, the ratios of estimated NAPL volumes and actual NAPL volumes ranged from 0.59~1.4. The reliability of NAPL estimation by means of PITT decreased when the flow rates of tracers were too low.

Key words : PITT, NAPL, column experiment, pipette experiment

1. はじめに

近年、ガソリンや有機塩素系化合物などの NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid ; 難水溶性溶液) による地下水・土壌汚染問題が数多く報告されている。しかし地表下の汚染状況は直接観測できないので、浄化対策上、土壌・地下水における汚染範囲あるいは移動範囲の推定や把握が最重要課題となる。その際、地下に存在する汚染物質を過大評価すると浄化終了までの時間やコスト面で問題が生じ、一方過少評価すると汚染物質を完全

には除去できないという問題が生じる。

NAPL の存在形態は様々であるが、多くの場合、難水溶性であるため水とは分離した相として存在する。そしてしばしば、不透水層上にプール状に存在する (Oolman *et al.*, 1995 ; Frind *et al.*, 1999)。

従来行われている主要な汚染領域・存在量推定手法としては、(1) コア・サンプリング法、(2) コーン貫入試験、(3) 物理検層などがある。しかし NAPL 残留飽和度を知るために必要な代表要素体積 (REV) の上限値は、一般にフィールドで得られるサンプルのスケールを超えてい

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 文京区弥生 1-1-1

** 千葉大学大学院自然科学研究科 〒263-8522 稲毛区弥生 1-33

キーワード : PITT, NAPL, カラム実験, ピペット実験

る (Mayer and Miller, 1992)。これに対しトレーサーテストは、地下水の流動場を利用するため広範囲の NAPL 量を推定することができる。

そのような背景を受けて発達してきた地下 NAPL 量推定手法が、PITT (Partitioning Interwell Tracer Test) である。PITT は、地下石油埋蔵量を推定するために 1970 年代の石油産業分野から発達してきた。しかし近年の石油汚染の深刻化に伴い、PITT を地下滞留 NAPL 量推定に拡張して用いる方法が提示された (Jin *et al.*, 1995)。さらに、室内実験による再現 (Wilson and Mackay, 1995; Hunkeler *et al.*, 1997; Deeds *et al.*, 1999, 2000; Whitley *et al.*, 1999)、シミュレーションと組み合わせた有効性の評価 (Jin *et al.*, 1997)、フィールドでの研究 (Young *et al.*, 1999; Mariner *et al.*, 1999) とさまざまな研究が進められている。

しかし PITT が NAPL 量推定に有効であると言われているものの、問題点もいくつかある。それらは PITT の精度や誤差に関するもの (Dwarakanath *et al.*, 1999) である。すなわち、(1) NAPL 量推定期間中における NAPL の減少、(2) NAPL の移動による影響、(3) 土壌中有機物・鉱物によるトレーサーの吸着 (Jin *et al.*, 1997)、(4) 不均一な NAPL 存在形態によるトレーサーの不均一な分配、(5) 正確なトレーサーの分配係数の決定 (Lee *et al.*, 1998; Dwarakanath and Pope, 1998) などについては、まだ十分には検討されていない。

特に、トレーサーが NAPL とそれ以外の媒体との間でどのように分配されるかという現象論についての検討は、さらなる精度向上のために不可欠の問題である。すなわち、トレーサーの分配において、トレーサーと NAPL との接触表面積、接触時間、トレーサー水溶液の組成、温度、圧力などの影響を明らかにする必要がある。

本研究の目的は、NAPL 量推定のための PITT 精度と適用性を実験室レベルで明らかにすることである。そのために、カラムおよびピペットを用いた PITT 模擬実験を行い、PITT 精度に対する NAPL とトレーサーとの接触比表面積の影響、およびトレーサー流速の影響を解析する。

2. PITT について

2.1 PITT の概念

PITT とは、井戸間における分配トレーサー試験のことである。PITT は汚染の浄化を効率良く行うために、汚染の浄化に先立って、地下滞留 NAPL 量を推定するための手法である。しかし現在は、汚染物質の溶剤洗浄前後に行われることで、浄化の評価にも用いられている。

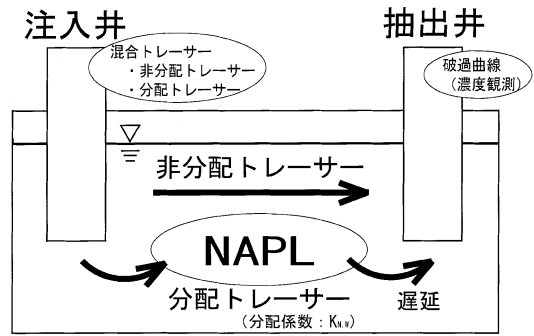


図-1 現地での PITT 概略図
Fig. 1 Schematic diagram of PITT in a field.

具体的にはまず、汚染の可能性のある範囲を囲むように一対以上の注入および抽出井を設置する。その後、注入井から混合トレーサー (汚染物質に分配・非分配性を示す数種類の物質) を流し、抽出井でその濃度変化を観測する (図1)。

非分配トレーサーは NAPL を避けて抽出井に到達する。一方分配トレーサーは、各々の物質に特有である分配係数 ($K_{N,w}$) の値に従い NAPL 内外へ分配されるため、NAPL 中に分配されている時間だけ非分配トレーサーよりも抽出井に到達する時間が遅れる。この分配による破過曲線の時間差 (遅延) を用いて NAPL 量を推定する手法が PITT である。

2.2 PITT 理論の概要

PITT によって得られる最も重要な情報は滞留 NAPL 量 V_N であり、次式で定義される (Jin *et al.*, 1995)。

$$V_N = \frac{q(\bar{t}_p - \bar{t}_n)}{K_{N,w}} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 \bar{t}_p は分配トレーサーの平均滞留時間 (min)、 \bar{t}_n は非分配トレーサーの平均滞留時間 (min)、 $K_{N,w}$ は NAPL-水分配係数、 q はトレーサーの単位時間流量 (mL min^{-1}) である。平均滞留時間 \bar{t}_p 、 \bar{t}_n は、トレーサー物質が媒体を通過した後排出される場合の破過曲線を解析すれば定めることができるもので、どちらも次式で定義される (Jin *et al.*, 1995; Young *et al.*, 1999)。

$$\bar{t}_i = \left(\frac{\int_0^{t_f} C_d \cdot t dt}{\int_0^{t_f} C_d dt} \right) - \frac{t_{in}}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで添え字 i は分配 (partitioning) を意味する p 、または非分配 (non-partitioning) を意味する n をあらわす。 C_d は無次元トレーサー濃度 $(C - C_0) / (C_{in} - C_0)$ であり、 C_0 、 C_{in} はそれぞれ、初期濃度、注入濃度である。 t は時間

(min), t_f はトレーサーテスト終了時間 (min), t_m はトレーサー注入時間 (min) である。

また、トレーサー物質の NAPL-水分配係数 $K_{N,W}$ の値は常にその物質特有の定まった値をとり、

$$K_{N,W} = \frac{C_{i,N}}{C_{i,W}} \dots \dots \dots (2.3)$$

で定義される。ここで、 $C_{i,N}$ は NAPL 中のトレーサー i の濃度、 $C_{i,W}$ は地下水中のトレーサー i の濃度である。

以上の理論を適用する場合、少なくとも 2 つの重要な仮定が設けられる。第 1 の仮定は、媒体中のトレーサー物質について局所平衡が成立し、局所的に $K_{N,W}$ 値が (2.3) 式の定義からはずれることはないこと、第 2 の仮定は、分配トレーサーは水相または NAPL 相のみに分配され、他の媒体 (有機物、鉱物など) への分配は無視できるほど小さいことである。実際に起こる流れのある場での分配現象では、異なる 2 つの相への分配現象が、完全な局所平衡のもとで生ずることはなく、流れの速度や 2 つの相の接触面積の影響を受けると予測される。したがって、一般に用いられる PITT の推定精度も、上述した 2 つの仮定の妥当性に左右されるであろう。本実験のねらいは、このことを実証的に確認するところにある。

3. 実験方法

まず、本実験で用いるトレーサーの分配係数を測定した。その後、間隙率 0.42 となるように直径 1 mm のガラスビーズを水中充填したカラム中に NAPL が存在するときの PITT モデル実験 (カラム実験) を、続いて水中に NAPL が塊状で存在するときの PITT モデル実験 (ピペット実験) を行った。カラム実験は飽和土壌中の PITT モデルとして、またピペット実験は PITT 精度を向上させることを目的とし、より単純な系で NAPL の量とその分布や形状が PITT、すなわち分配現象に与える影響を把握するために実施した。各々の実験を実験装置の頭文字を用いて実験 C、および実験 P とあわす。

トレーサーや NAPL の定量分析装置としてガスクロマトグラフィー (FID: 島津 GC14B, 以下ガスクロ) を用いた。分析条件は、2 段階昇温プログラム、カラム初期温度 70°C (6 min), 1 段階終温 100°C (6 min), 最終温度 130°C (6 min), 昇温率 15°C min⁻¹, インジェクション温度 200°C, ディテクション温度 200°C, 感度 2 である。さらに、非分配トレーサーとしてエタノール、分配トレーサーとして 4 メチル 2 ペンタノール (以下 4M2P) を、NAPL としてはトリクロロエチレン (以下 TCE) を用いた。

3.1 分配係数の決定

分配トレーサー 4M2P の分配係数は、バッチ試験より決定した。トレーサー (エタノール, 4M2P の混合) 水溶液 10 mL と TCE 2.0 mL (容量比 5:1) を茶褐色バイアル瓶に投入し、トレーサー水溶液相のトレーサー濃度 (C) をガスクロで測定した。トレーサー水溶液初期濃度 (C_0) としては 25, 50, 100, 200 ppm の 4 種類を用いた。

バッチ試験における溶液攪拌が分配係数に及ぼす影響を調べるために、3 種類の条件を設定した。すなわち、① 攪拌せずに 1 日静置した試料 (No. 1), ② 攪拌せずに 2 日静置した試料 (No. 2), ③ 12 時間静置後に 5 分間攪拌するという作業を 2 反復した試料 (No. 3) である。No. 1 と No. 2 の比較から、TCE とトレーサー水溶液の接触表面積が変化しない場合の TCE 中へのトレーサー分配の時間変化について、No. 1 と No. 3 から、TCE とトレーサーとの接触表面積が攪拌によって変化した場合のトレーサー分配の時間変化について検討を加えた。

いずれの条件についても、攪拌直後は TCE が水相中に混じっているため、攪拌後 2 時間静置させた後に水相の 5.0×10^{-3} mL を用いてガスクロでトレーサー濃度 (C) を分析した。以上の濃度 C_0, C を用い、さらに適宜希釈を行った場合の補正を施すことで $C_{i,W}$, $C_{i,N}$ の各値を定めて、(2.3) 式より $K_{N,W}$ 値を求めた。

3.2 平均滞留時間の決定

3.2.1 カラム実験の場合

ガラスビーズを充填したガラスカラム (25 cm 長, 内径 1.8 cm) を垂直に立て、下方から定流量ポンプ (MASTER FLEX 7519-05) を用いて蒸留水を飽和させた。ビーズの流出を防ぐため、カラム両端にスチールウールをストッパーとして封入した。その後ポンプを停止させ、NAPL の下方への沈降を防ぐためにカラムをほぼ水平に配置し (図 2), NAPL として TCE をカラム側方から注入した (図中 A, B)。実験は TCE を 1 ケ所に集中させた場合 (C1) と、図 2 のように 2 ケ所に分離させた場合 (C2) の 2 種類とした。

実験 C1 では 6.0 mL の TCE をカラム左方、トレーサー注入口からおおよそ 7.0 cm の 1 地点のみにひとかたまりで注入した。また実験 C2 では、TCE を 3.0 mL ずつ 2 地点に分けて注入した (トレーサー注入口からおおよそ 10 cm, 20 cm)。C1, C2 ともに総 TCE 量は 6.0 mL で同量である。

TCE 注入後トレーサー混合溶液 1.0×10^{-2} mL を瞬間 (約 0.1 s) 注入し、再度定流量ポンプを用いて蒸留水を連続供給した。流量は両実験ともに 0.06 mL min^{-1} とした。

実験中 5 分間隔で、カラム右端からバイアル瓶に連続

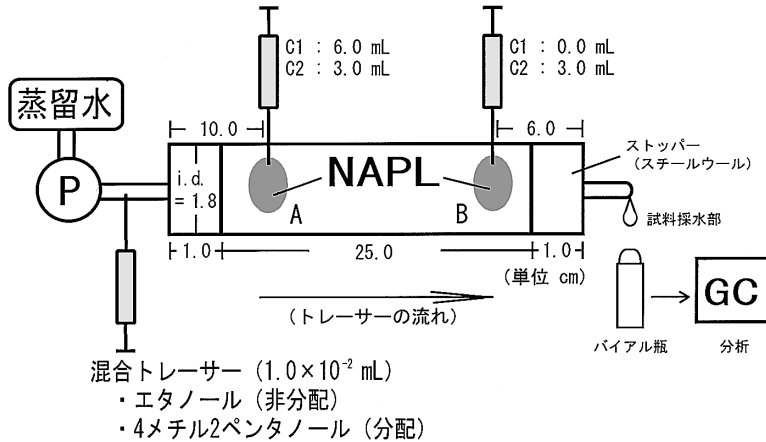


図-2 カラム実験模式図

Fig. 2 Setup for column experiments.

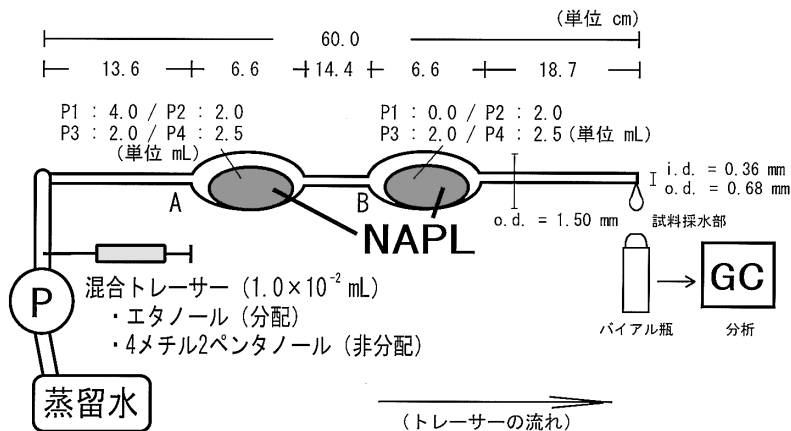


図-3 ピペット実験模式図

Fig. 3 Setup for pipette experiments.

的に排出液を採水した。採水試料は揮発を防ぐために採水直後にキャップをはめてシールテープで密閉した後、分析まで冷蔵保存した。その後、試料の 5.0×10^{-3} mL を用いてガスクロでトレーサー濃度を測定した。さらに、得られた濃度変化(破過曲線)からトレーサー平均滞留時間(2.2式)を算出し、(2.1)式を用いてトレーサー量を推定した。式(2.2)の数値積分の微小時間 Δt としては、トレーサー濃度変化の大きな範囲ではC1, C2ともに10 min、濃度変化の小さな範囲では徐々に大きくし、最大ではそれぞれ952, 1040 minとした。また、数値積分の分割数はそれぞれ43, 37とした。

3.2.2 ピペット実験の場合

10 mL用のホールピペットを2本連結させて(全長約60 cm)実験装置とした(図3)。ピペット内部を蒸留水で飽和させ、TCEの移動を防ぐためにピペット膨張部(図中A, B)をTCE注入部とした。

実験は異なるTCE量、TCE形態、トレーサー流速について4種類を設定した。実験P1はTCE 4.0 mLをピペット左方の膨張部に1ヶ所集中型で注入し、トレーサー注入後、蒸留水を 0.06 mL min^{-1} で流した。実験P2およびP3はTCE 4.0 mLを2分割して2ヶ所分布型で注入し、流量はそれぞれ $0.06, 0.12 \text{ mL min}^{-1}$ とした。P4はTCE 5.0 mLを2分割して2ヶ所分布型で注入し、

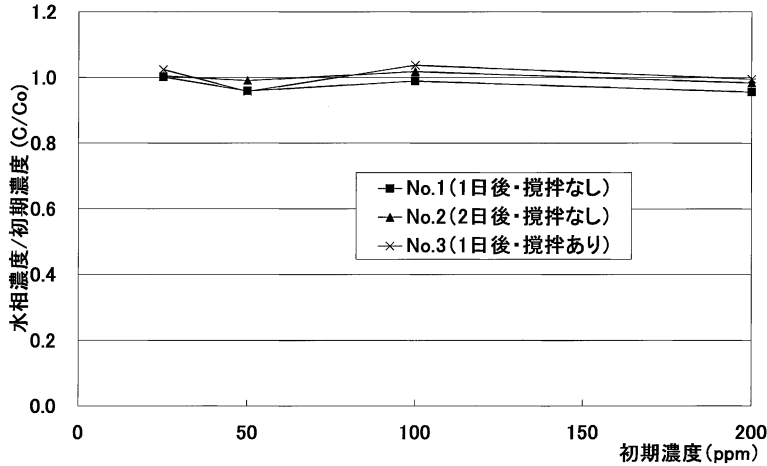


図-4 異なるトレーサー初期濃度・経過時間・攪拌条件下でのエタノールの水-TCE 分配

Fig. 4 Partitioning of ethanol between aqueous and TCE phases under different tracer initial concentrations, time and stirring conditions.

流量は 0.12 mL min^{-1} とした。なお TCE とトレーサー水溶液との接触表面積は注入形態によって異なり、また実験中に TCE が一部分離して孤立する場合もあったので実験毎に実測した。表面積の実測は、ピペット背面、および底面に方眼紙を配置して行った。実験を通して、ピペット内部の TCE 形態はほとんど変化しないことが視認できた。さらに、それぞれの実験を比較するために、実測した表面積を注入 TCE 量で割ることで、TCE 1.0 mL に対する比表面積を求めた。実験条件等を表 1 に示す。

トレーサーの注入は、ピペット左方のトレーサー注入口から $1.0 \times 10^{-2} \text{ mL}$ のトレーサー混合溶液を瞬間注入し、その直後から定流量ポンプで蒸留水を連続供給した。採水、分析、および TCE 量推定の手順はカラム実験と同様である。ここで、式 (2.2) の数値積分の微小時間 Δt としては、適当な破過曲線を得るためにトレーサー濃度変化の大きな範囲では P1~P4 でそれぞれ 10, 20, 7, 5 min, 濃度変化の小さな範囲では徐々に大きくし、最大でそれぞれ 600, 1080, 360, 1971 min とした。また、数値積分の分割数はそれぞれ 44, 41, 27, 22 とした。

4. 実験結果

4.1 分配係数

図 4 にエタノール、図 5 に 4M2P のバッチ試験結果を示す。縦軸には各処理 (No. 1, No. 2, No. 3) での測定濃度を初期濃度 (C_0) で除した値 (C/C_0) を、横軸にはトレーサー初期濃度 (ppm) をとる。

図 4 よりエタノールは、No. 1, No. 2, No. 3 とともにほとんど初期濃度に近い濃度であった。このことから、エタノールの TCE への分配はほとんどないことが確認できる。実験データから (2.3) 式を用いて $K_{N,W}$ を求めると、 $-0.07 \sim 0.13$ と非常に小さい値を示した。したがってエタノールは TCE に対する非分配トレーサーと確認できるため、 $K_{N,W}=0$ として取り扱った。

一方図 5 より 4M2P は No. 1, No. 2, No. 3 とともにトレーサー濃度は減少しており TCE への分配が確認できる。さらに攪拌しなかった No. 1 および No. 2 に比べて攪拌を行った No. 3 の濃度減少が大きいことから、攪拌することでトレーサーの TCE への分配が進行しやすくなるのがわかる。(2.3) 式を用いて算出した 4M2P の分配係数は、No. 1 および No. 2 ではそれぞれ 8.28, 7.63, No. 3 では 10.4 となり No. 3 が Jin ら (1997) で用いられている $K_{N,W}=10.2$ に近い値を示した。分配係数は、分配が平衡に達するまでの間は時間とともに増加する。しかし、本実験の 1 日という時間はトレーサーと NAPL とが完全に接触していれば、分配が平衡に達するには十分な時間と考えられる。このため、No. 1, No. 2 においてはトレーサーと NAPL との接触が完全ではなく分配が平衡に達しなかったが、No. 3 の攪拌した場合には分配が平衡に達したと考えられる。

本カラム実験、ピペット実験における平均滞留時間は 8~20 時間であるが、比表面積と流速の影響を考慮し、本実験の非分配トレーサーとしてエタノール、分配トレーサーとして 4M2P を採用した。さらに、本研究を行

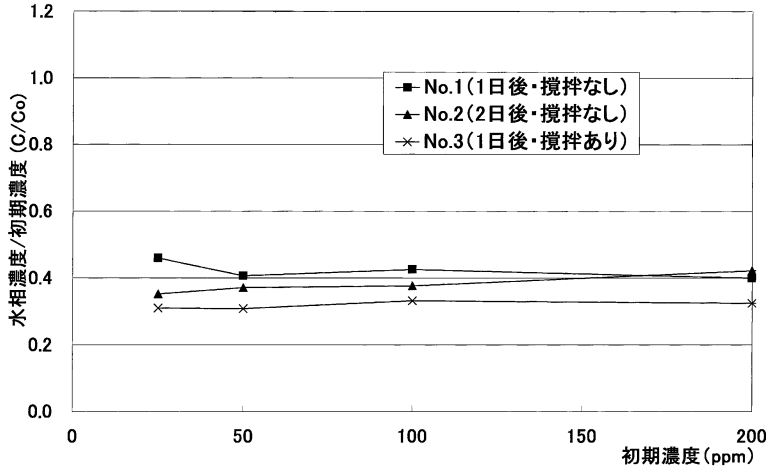


図-5 異なるトレーサー初期濃度・経過時間・攪拌条件下での4M2Pの水-TCE分配
 Fig. 5 Partitioning of 4M2P between aqueous and TCE phases under different tracer initial concentrations, time and stirring conditions.

う際の分配係数の値として $K_{N,W}=10.4$ を用いた。

4.2 破過曲線の形状

図6～図11に、カラムおよびピペット実験の破過曲線を示す。縦軸には観測された濃度をその最大値 (C_{max}) で除した濃度、比濃度 (C/C_{max}) を、横軸には時間 (min) をとる。横軸の時間間隔が異なるのは、採水間隔に比べて分析時間が長く必要のため、破過曲線を得るために適当と考えられる時間間隔で分析を行ったためである。また、エタノール、および4M2Pの C_{max} (ppm) はそれぞれ、C1で378, 33.8, C2で437, 34.8, P1で214, 94.2, P2で345, 64.7, P3で205, 82.7, P4で263, 55.3である。図中縦線は、分配トレーサー (\bar{t}_p) および非分配トレーサー (\bar{t}_n) の平均滞留時間 (min) である。

4.2.1 カラム実験の場合

図6および図7にそれぞれC1, C2の破過曲線を示す。

破過曲線(図6, 7)上で、両実験ともに4M2Pの濃度ピークがエタノールに遅れて観測された。さらに、4M2Pのピーク時間の遅れは、C1に比べてC2で大きかった。

また、エタノールの濃度変化はC1, C2ともほぼ同じような形を示した。しかし4M2Pの濃度変化の形状は異なり、濃度上昇部分ではC1に比べC2の変化が緩やかであった。逆に濃度低減部分では、C2の変化はC1より急であった。さらに、両実験とも4M2Pの濃度低減部分の傾きが上昇部分に比べて緩やかであった。またエタノールに比べて4M2Pの濃度変化は、濃度上昇部分、低

減部分ともに緩やかであった。

4.2.2 ピペット実験の場合

P1～P4で得られた破過曲線をそれぞれ、図8～11に示す。実験を通して、TCEはピペット底面に塊状で存在した。

すべての実験(図8～図11)で、エタノールと4M2Pのピーク差はカラム実験ほど明確ではなかった。

また破過曲線は、どの実験でも濃度ピーク時まではエタノールと4M2Pがほぼ同じ形状を示し、その後4M2Pの傾きが緩やかになりテーリングを生じた。さらにP1, P2, P4の4M2Pの濃度低減部分では、なめらかでない階段状の濃度減少が起こった。

4.3 滞留 NAPL 量の推定

実験より得られた両トレーサーの平均滞留時間 \bar{t}_p および \bar{t}_n (min), またそれらを(2.1)式に代入して計算した推定 NAPL 量 V_N (mL) を表1に示す。

まずカラム実験において、エタノールの平均滞留時間 (min) はC1で408, C2で372であり、4M2PではC1で1,020, C2で1,100であった。このことから、同じ量のTCEが存在してもその存在形態によって4M2PのTCEへの分配に差が生じることがわかる。さらに、実際の注入量6.0 mLに対し推定 NAPL 量 V_N は、C1で3.5 mL, C2で4.2 mLと、TCEが2ヶ所にわかれて存在した場合の方が実際の注入量に近かった。

次にピペット実験において、エタノールの平均滞留時間 (min) はP1～P4でそれぞれ401, 276, 193, 164であり、4M2PではP1～P4でそれぞれ913, 1,220, 561,

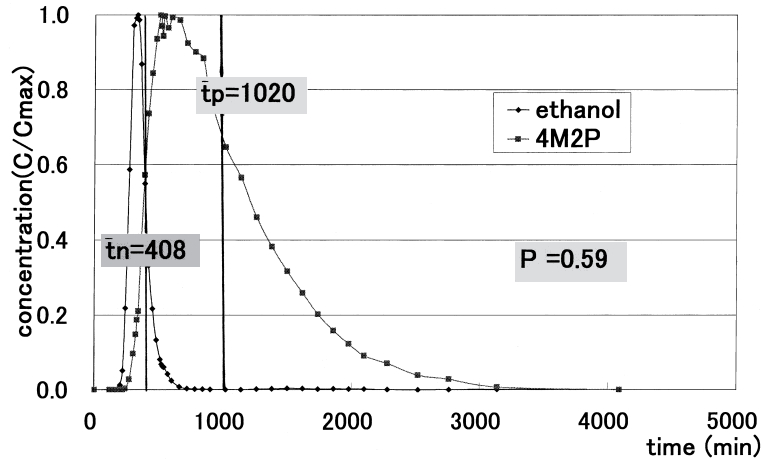


図-6 実験 C1 (TCE 6.0 mL) の破過曲線

Fig. 6 Breakthrough curves of run C1 with 6.0 mL of NAPL.

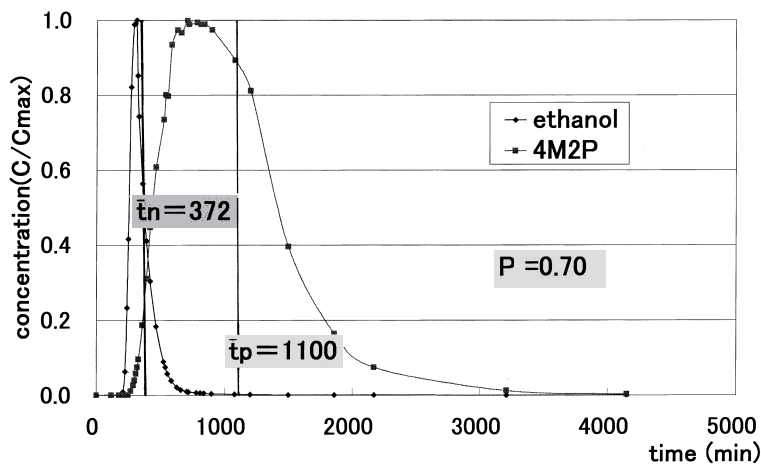


図-7 実験 C2 (TCE 3.0+3.0 mL) の破過曲線

Fig. 7 Breakthrough curves of run C2 with 3.0 +3.0 mL of NAPL.

491であった。すなわち、すべての実験で4M2Pの平均滞留時間がエタノールに比べて大きかった。また推定 NAPL 量 V_N は、実際の注入量 4.0 mL に対し P1~P3 ではそれぞれ 3.0, 5.4, 4.3 mL, P4 では注入量 5.0 mL に対し 3.8 mL であった。

5. 考 察

5.1 破過曲線の特徴について

破過曲線の形状変化を評価することで、分配現象およびこれに伴って生ずるトレーサーの分散現象を推定できる。ここで分散現象とは、分配トレーサーが NAPL へ分

配され、NAPL 内で滞留し、再度水相へ出てくる過程で生じるメカニズムであり、分散現象を把握することが、PITT の基本となるトレーサーの分配現象を理解するために必要不可欠と考えられる。

5.1.1 カラム実験の場合

両実験ともに4M2Pの濃度ピークがエタノールに遅れて観測された(図6, 7)ことから、4M2PがTCEに分配されたことがわかる。さらに4M2Pのピーク時間がC1に比べてC2で遅れて観測されたことは、TCEが2ヶ所に存在する場合(C2)に、1ヶ所にまとまって存在する場合(C1)よりトレーサーとNAPLとの接触表面積

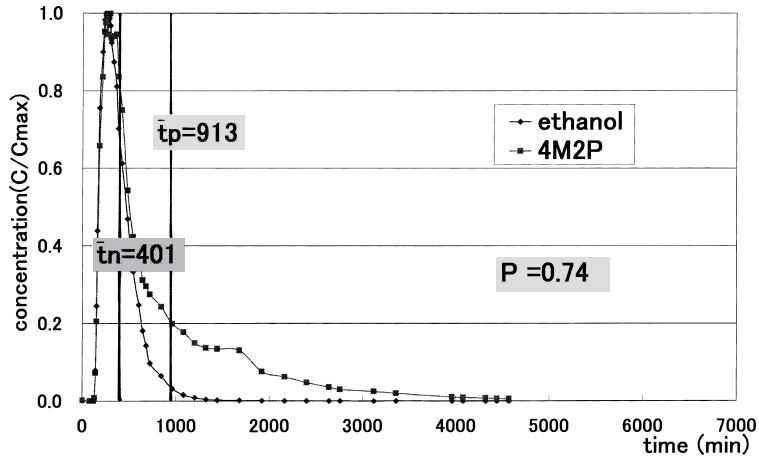


図-8 実験 P1 (接触比表面積 $2.7 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$, 流量 0.06 mL min^{-1}) の破過曲線

Fig. 8 Breakthrough curves of run P1. Specific surface of TCE is $2.7 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$ and flow rate is 0.06 mL min^{-1} .

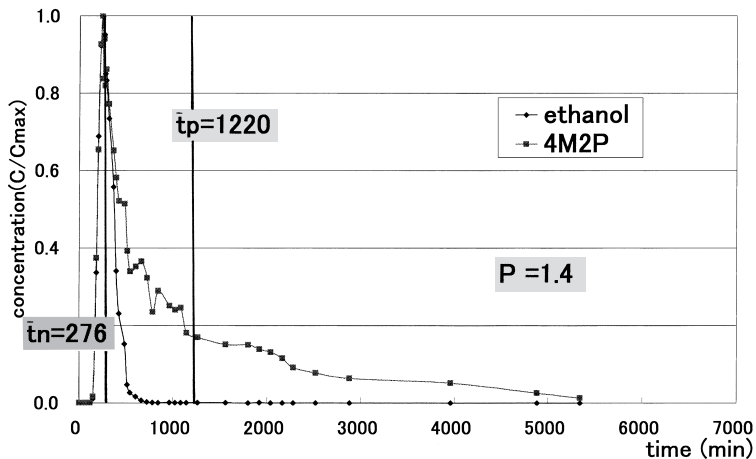


図-9 実験 P2 (接触比表面積 $5.0 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$, 流量 0.06 mL min^{-1}) の破過曲線

Fig. 9 Breakthrough curves of run P2. Specific surface of TCE is $5.0 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$ and flow rate is 0.06 mL min^{-1} .

が大きくなったことが原因と考えられる。C1 では TCE にトラップされなかった 4M2P の割合が多く、C2 より濃度ピークが早く観測されたと考えられる。

また両実験で、濃度上昇部分、低減部分ともに 4M2P の曲線勾配がエタノールに比べて緩やかであった。これは、4M2P の分散現象が TCE 中では特に著しく生じていたためと推測される。なぜなら 4M2P が TCE 中に分配はされても著しい分散を起こさなければ、エタノール

とのピーク差が生じるだけで曲線の傾きには差が生じないはずだからである。ここで、著しい分散現象が起こる原因には、TCE 中での分子拡散と流れの速度分布の 2 者が考えられるが、それらを分離して把握することは行わず、両者をこみにした分散現象ととらえることにする。

さらに、4M2P の濃度上昇部分で C1 に比べ C2 の変化が緩やかであった。これは、TCE が 2 ケ所に分かれてい

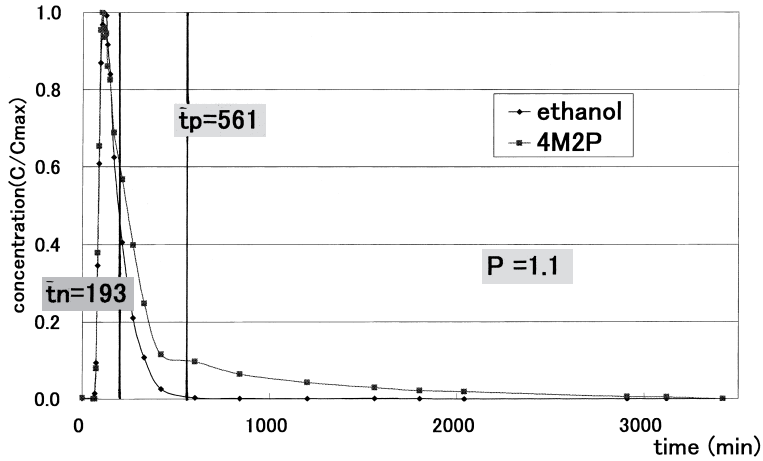


図-10 実験 P3（接触比表面積 $5.0 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$, 流量 0.12 mL min^{-1} ）の破過曲線

Fig. 10 Breakthrough curves of run P3. Specific surface of TCE is $5.0 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$ and flow rate is 0.12 mL min^{-1} .

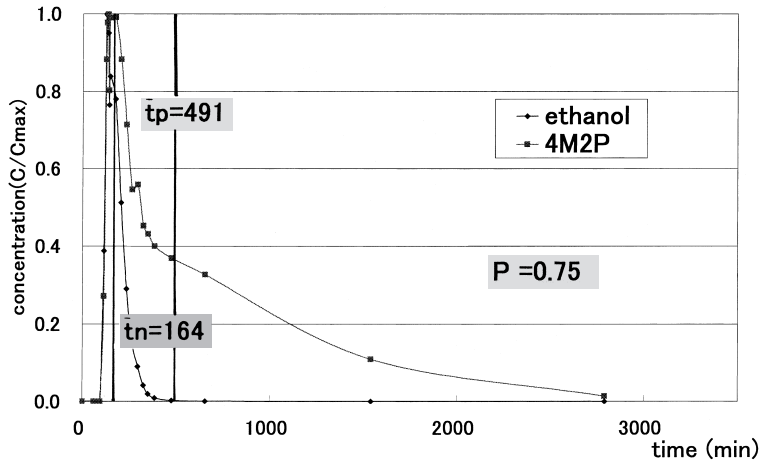


図-11 実験 P4（接触比表面積 $3.4 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$, 流量 0.12 mL min^{-1} ）の破過曲線

Fig. 11 Breakthrough curves of run P4. Specific surface of TCE is $3.4 \text{ cm}^2 \text{ mL}^{-1}$ and flow rate is 0.12 mL min^{-1} .

る方が TCE の表面積が大きく、PITT 開始後の初期の段階で 4M2P の水相から TCE 中への分配が起りやすかったことが原因と推測される。逆に濃度低減部分では、C2 の変化が C1 より急であった。これは、TCE が 2 ケ所にわかれている場合には、TCE 表面積が大きく TCE 中に分配されていた 4M2P が水相へ排出されやすかったためと考えられる。これに対し、C1 の濃度低減部分が緩やかとなったのは、TCE が 1 ケ所にまとまった

場合には TCE 内部に 4M2P が滞留する時間が長く、内部での 4M2P の分散が著しかったためと考えられる。

5.1.2 ピペット実験の場合

すべての実験（図 8～11）でカラム実験とは異なり、両トレーサーのピーク時間、および濃度上昇部分の曲線勾配にほとんど違いがなく、濃度低減部分でのみ 4M2P の曲線勾配が緩やかとなったが、これは TCE がピペット底面に塊状で存在したことが原因と思われる。ピペット

表-1 実験条件および結果

Table 1 Experimental conditions and results for all the runs.

実験名	\bar{t}_n	\bar{t}_p	S	q	V_N	V_r	P
C1	408	1,020	—	0.06	3.5	6.0	0.59
C2	372	1,100	—	0.06	4.2	6.0	0.70
P1	401	913	2.7	0.06	3.0	4.0	0.74
P2	276	1,220	5.0	0.06	5.4	4.0	1.4
P3	193	561	5.0	0.12	4.3	4.0	1.1
P4	164	491	3.4	0.12	3.8	5.0	0.75

\bar{t}_p : 分配トレーサー (4M2P) の平均滞留時間 (式 2.2; min)

\bar{t}_n : 非分配トレーサー (エタノール) の平均滞留時間 (式 2.2; min)

q : 流量 (mL min⁻¹)

V_N : 推定 NAPL 量 (式 2.1; 予備バッチ実験より求めた分配係数 (K=10.42) を用いて算出; mL)

V_r : 実際の NAPL 量 (実際に投入した TCE 量; mL)

P : PITT 精度 (V_r/V_N 比として定義)

S : 接触比表面積 (cm² mL⁻¹)

内の上層部を流れ TCE を通過しなかった一部の 4M2P がエタノールと同時に排出されて破過曲線上では濃度上昇部分に反映され、TCE への分配により遅れた 4M2P がゆっくり排出して破過曲線上では濃度低減部分の緩やかな曲線に反映されたと考えられる。また濃度低減部分の緩やかな 4M2P の曲線勾配から、カラム実験の場合と同様に 4M2P が TCE に分配し、その後 TCE 中で外部より著しい分散現象が生じたと推測される。

ところで、P1, P2, P3 の 4M2P 濃度低減部分で階段状の濃度減少が見られ、カラム実験の濃度低減部分ほどになめらかにはならなかった。これは 4M2P が TCE 内部へ分配された後、TCE 内部での 4M2P 濃度分布が不均一となり排出濃度が変動したものと考えられるが、そのメカニズムの詳細は不明であった。

5.2 PITT による NAPL 量の推定精度について

(2.1) 式を用いて計算した推定 NAPL 量 V_N (mL) と実際に投入した NAPL 量 V_r (mL) との比を PITT 精度 P (V_N/V_r) と定義する。

5.2.1 カラム実験の場合

PITT 精度 P は C1 で 0.59, C2 で 0.70 と TCE が 2 ケ所にわかれて存在した場合に高かった (表 1)。これは TCE が 2 ケ所に分割されたことにより、同量の NAPL における接触表面積が増大して精度向上につながったも

のと考えられる。

5.2.2 ピペット実験の場合

PITT 精度 P は P1~P4 でそれぞれ 0.74, 1.4, 1.1, 0.75 となった (表 1)。

これらを比較考察するために、まず注入 NAPL 量、および蒸留水流量の等しい P1 と P2 を比較する。NAPL を 2 ケ所にわけて 4.0 mL 注入した P2 の推定 NAPL 量は 5.4 mL、1 ケ所の場合 (P1) 3.0 mL であった。すなわち、カラム実験同様ピペット実験でも、同じ NAPL 量の場合にはその分布が分かれている方が NAPL 量を多く推定する傾向が一致した。しかし PITT 精度は P1 で 0.74, P2 で 1.4 とどちらも 1.0 から離れた値であり、推定精度がよいとはいえなかった。

次に、P1~P4 全てを用いて接触比表面積の影響について考察する。P1~P4 それぞれの接触比表面積は 2.7, 5.0, 5.0, 3.4 cm² mL⁻¹ であり、もし接触比表面積が大きいほど PITT 精度が高いと仮定すると、P2 と P3 の精度が高いと予測される。しかし実験結果 (表 1) によれば、PITT 精度はそれぞれ 1.4, 1.1 であり、特に P2 の精度が高いとはいえない。P3 の精度 1.1 は満足すべき値と考えられる。P3 の 4M2P 濃度低減部分の曲線形状が P2 と比較してなめらかであったことから、破過曲線の変動性が小さいことが PITT 精度向上のための必要条件と考えられる。このことは、平均滞留時間 (\bar{t}) の推定式 (2.2 式) からも示唆される。なぜなら、PITT 開始後の早い時間、すなわち tail の初めの部分で濃度が急激に減少する (P1, P4) と \bar{t} が過小評価され、PITT 開始後十分に時間が経過した後で高濃度の排出が長く続く (P2) と、 \bar{t} が時間にひきずられて過大評価され、また変動性の大きな破過曲線を解析すると \bar{t} の正確な評価が難しくなるからである。

次にトレーサー流速の影響について調べるため、流量の小さい P1 と P2 (0.06 mL min⁻¹)、および流量が 2 倍の P3 と P4 (0.12 mL min⁻¹) とを比較する。まず流量の大きい場合、4M2P の破過曲線における P3 の濃度低減部分は特になめらかであり、濃度の変動や階段状の濃度減少がなく、推定精度も 1.1 と優れている。しかし P4 については濃度低減部分に変動が見られ、推定精度も 0.75 で必ずしも高くはなかった。また TCE 注入量は P3 と等しい (4.0 mL) が流量の小さな P1 と P2 では、4M2P 濃度低減部分の曲線に変動があり、精度は 0.74 と 1.4 であまり高いとはいえない。

また本実験では、破過曲線上に Jin *et al.*, 1995 等で見られるような明確なピーク差は観測されなかったが、PITT において NAPL 量を推定するための式 (2.1) は平均滞留時間 (2.2 式) の差で表されるため、時間経過に

ともなう濃度変化を考慮することが必要である。そして、遅延係数 (Rd) は平均滞留時間の比 (\bar{t}_p/\bar{t}_n) として表されるため、トレーサーの遅延を議論する場合には、平均滞留時間に影響を与える破過曲線の形状を解析することが重要と考えられる。

以上要するに、分配トレーサーの破過曲線における濃度低減部分がなめらかであると PITT 精度が高くなる傾向が明らかとなった。P3 の実験結果でなめらかな破過曲線と比較的高い PITT 精度が得られたのは、NAPL とトレーサーとの接触比表面積が大きいことが主たる理由であろう。しかし、接触比表面積が大きくても流速の小さい P2 では十分な精度が得られなかったため、接触比表面積が大きいことと、流速が小さすぎないことの両者が重要であるといえる。ここで、流速のみについてみると、本実験では流速の小さい P1 と P2 では PITT 精度が低かった。この点に関して、以下の Jin *et al.*, 1995 の指摘がある。彼らは、砂を充填したカラムを用いて、 $0.05 \text{ mL min}^{-1} \sim 0.15 \text{ mL min}^{-1}$ の流速で実験を行い、その滞留時間は 5~11 時間であった。この滞留時間は、本実験の滞留時間 (8~20 時間) の半分程度であるものの、従来行われてきた実験 (Dria, 1989) によると、局所的平衡に十分な滞留時間である。Jin らは、局所的な平衡を達成させるために必要な滞留時間は、条件に応じて決定されるべきものであり、流速が大きすぎる場合、分配現象が非平衡状態で起こる可能性があるとした。したがって、条件に応じてどのようなトレーサー流速が PITT 精度向上のために最適であるかを決定することは特に重要といえる。

6. 結 論

本研究の目的は、NAPL 量推定のための PITT 精度と適用性を明らかにすることであり、そのために分配トレーサー (4M2P) と非分配トレーサー (エタノール) とを用いて NAPL の存在形態、接触比表面積、および流速の違いが PITT 精度へ及ぼす影響を調べた。

その結果、ガラスビーズを充填したカラム実験では (1) PITT 精度 0.59~0.70 の範囲で滞留 TCE 量を推定することができ、(2) TCE と分配トレーサーとの接触比表面積が大きいときに PITT 精度が高くなることが推測された。

次に系をより単純化したピペット実験では (1) PITT 精度 0.74~1.4 の範囲で滞留 TCE 量が推定でき、(2) 高い PITT 精度を得るには TCE とトレーサーとの接触比表面積が大きいことが重要であり、(3) トレーサー流速が小さすぎると PITT 精度が低下することがわかった。

現在までの PITT の研究は、トレーサーの分配が局所

的に平衡に達しているという仮定の下で行われ、分配現象の時間的経緯に着目した研究は希少である。本研究では、分配現象の進行において、流速、NAPL 比表面積、トレーサーの分散現象などが関与することを見いだした。NAPL 量推定精度の向上を今後の課題としたい。

8. 謝 辞

本研究を行うにあたり、千葉大学環境リモートセンシング研究センターの近藤昭彦助教授、また吉村雅仁氏には本研究の全般において常に一方ならぬご指導をいただきました。また、レフリーの方 (2 名) には適切なご指摘をいただきました。深く感謝致します。

参考・引用文献

- Deeds, N.E., Pope, G.A. and McKinney, D.C. (1999) : Vadose Zone Characterization at a Contaminated Field Site Using Partitioning Interwell Tracer Technology. *Environmental Science and Technology*, **33** (16) : 2745-2751.
- Deeds, N.E., McKinney, D.C. and Pope, G.A. (2000) : Laboratory characterization of non-aqueous phase liquid/tracer interaction in support of a vadose zone partitioning interwell tracer test. *Journal of Contaminant Hydrology*, **41** : 193-204.
- Dria, D.E. (1989) : A Study of three-phase relative permeabilities and dispersivities under carbon dioxide flooding conditions in a heterogeneous carbonate core, Ph. D. dissertation, Univ. of Texas, Austin.
- Dwarakanath, V. and Pope, G.A. (1998) : New Approach for Estimating Alcohol Partition Coefficients between Nonaqueous Phase Liquids and water. *Environmental Science and Technology*, **32** (11) : 1662-1666.
- Dwarakanath, V., Deeds, N. and Pope, G.A. (1999) : Analysis of Partitioning Interwell Tracer Tests. *Environmental Science and Technology*, **33** (21) : 3829-3836.
- Frind, E.O., Molson, J.W., Schirmer, M. and Guiguer, N. (1999) : Dissolution and mass transfer of multiple organics under field conditions : The Borden emplaced source. *WATER RESOURCES RESEARCH*, **35** (3) : 683-694.
- Hunkeler, D., Hoehn, E., Hohener, P. and Zeyer, J. (1997) : ^{222}Rn as a Partitioning Tracer To Detect Diesel Fuel Contamination in Aquifers : Labora

- tory Study and Field Observations. Environmental Science and Technology, **31** : 3180-3187.
- Jin, M., Delshad, M., Dwarakanath, V., McKinney, D. C., Pope, G.A., Sepehrnoori, K., Tilburg, C.E. and Jackson, R.E. (1995) : Partitioning tracer test for detection, estimation, and remediation performance assessment of subsurface nonaqueous phase liquids. WATER RESOURCES RESEARCH, **31** (5) : 1201-1211.
- Jin, M., Butler, G.W., Jackson, R.E., Mariner, P.E., Pickens, J.F., Pope, G.A., Brown, C.L. and McKinney, D.C. (1997) : Sensitivity Models and Design Protocol for Partitioning Tracer Tests in Alluvial Aquifers. Ground Water, **35** (6) : 964-972.
- Lee, C.M., Meyers, S.L., Wright, C.L., Coates, J.T., Haskell, P.A. and Falta, R.W. (1998) : NAPL Compositional Changes Influence Partitioning Coefficients. Environmental Science and Technology, **32** (22) : 3574-3578.
- Mariner, P.E., Jin, M., Studer, J.E. and Pope, G.A. (1999) : The First Vadose Zone Partitioning Interwell Tracer Test for Nonaqueous Phase Liquid and Water Residual. Environmental Science and Technology, **33** (16) : 2825-2828.
- Mayer, A.S. and Miller, C.T. (1992) : The influence of porous medium characteristics and measurement scale on pore-scale distributions of residual nonaqueous -phase liquids. Journal of Contaminant Hydrology, **11** : 189-213.
- Oolman, T., Godard, S.T., Pope, G.A., Jin, M. and Kirchner, K. (1995) : DNAPL Flow Behavior in a Contaminated Aquifer : Evaluation of Field Data. Groundwater Monitoring & Remediation, Fall : 125-137.
- Whitley, G.A., McKinney, D.C., Pope, G.A., Rouse, B.A. and Deeds, N.E. (1999) : Contaminated Vadose Zone Characterization Using Partitioning Gas Tracers. Journal of Environmental Engineering, **125** (6) : 574-582.
- Wilson, R.D. and Mackay, D.M. (1995) : Direct Detection of Residual Nonaqueous Phase Liquid in the Saturated Zone Using SF₆ as a Partitioning Tracer. Environmental Science and Technology, **29** (5) : 1255-1258.
- Young, C.M., Jackson, R.E., Jin, M., Londergan, J.T., Mariner, P.E., Pope, G.A., Anderson, F.J. and Houk, T. (1999) : Characterization of a TCE DNAPL ZONE in Alluvium by Partitioning Tracers. Groundwater Monitoring & Remediation, Winter : 84-94.

受稿年月日 : 2004年 1月 28日
受理年月日 : 2004年 4月 30日

A Simple Estimation of Excess Rainwater Percolation from a Buried Container into a Vadose Zone

Katsutoshi SEKI*, Tsuyoshi MIYAZAKI*, Masaru MIZOGUCHI*, Hiromi IMOTO*,
Kotaro NAKAYA** and Hiroshi MIYAZAWA**

* Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,
1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

** Enlighten-Corporation, 1-38-1 Katsutadai, Yachiyo City, Chiba 276-0023, Japan

Abstract

This study evaluated the performance of a rainwater utilization system. Excess rainwater is drained from rooftops into an underground container from which the water infiltrates from the base and sides into the surrounding soil of a vadose zone. The saturated hydraulic conductivity of the soil where this system was used was very low at the surface and higher in the deeper layer where the container was located. A simple method was proposed to estimate the steady recharge rate of excess rainwater from the buried container into the surrounding soil of the vadose zone. By modifying the steady recharge equation, which is widely used in the theory of the Guelph Permeameter, a steady recharge rate from the container was calculated from the measured value of saturated hydraulic conductivity and the size of the container.

Key words : Rainwater percolation, Rainwater utilization, Steady recharge, Hydraulic conductivity, Buried container

1. Introduction

Rainwater utilization is attracting a great deal of attention, especially among people living in regions where excess rainwater is available. In some cases the collected rainwater is stored in underground containers for use in daily life and emergency. Excess rainwater is percolated to the surrounding unsaturated soil to avoid inundation and surface runoff of rainwater. Some people also expect that the recharge of groundwater may prevent the lowering of the ground level. When the rainwater exceeds the capacity of the buried water tank, the management of the overflow is crucial for the efficiency of a rainwater collection system.

The potential of a storage system that captures overflow from the buried tank strongly depends on the water retentivity and permeability of the soil of the surrounding vadose

zone. In the 16th Century, people living on the Aso plateau in western Japan dug rainwater drainage ditches around their residences (Japanese Association of Groundwater Hydrology 2001). The National Institute of Civil Engineering of the Japanese Ministry of Construction implemented a system to recharge groundwater by collecting excess rainwater into buried porous pipes, which drains the water into the surrounding unsaturated soil zones and, eventually, into the groundwater (Ishizaki 1985). The draft of the "Manual on the investigation and planning of a rainwater percolation facility," which was edited by the Society of the Rainwater Percolation Facility in 1995, provides information on percolation ditches and trenches, U-ditches, and pavement. However, the manual did not provide information for estimating the rates of infiltration from a water container into the surrounding unsaturated

soils.

The objective of this paper is to demonstrate a simple method for estimating the excess rainwater percolated from an underground container into the surrounding soil of a vadose zone.

2. Materials and Methods

2.1 Study Site

The study site is located at Yachiyo City, Chiba Prefecture, Japan. Boring tests revealed that a dressed soil layer of about 1 m covers the Kuroboku soil layer of 0.2 to 0.5 m thickness. Below the Kuroboku soil layer is a Tachikawa loam layer of 1 to 3 m thickness. Both the Kuroboku soil and Tachikawa loam are Andosol, and they are known as Kanto loam.

2.2 Soil Profile Measurement

A 2-m soil pit was dug, and a soil profile was recorded. The profile of soil hardness was measured *in situ* with the use of Yamanaka soil hardness meter, which is widely used in Japan. The empirical relationship between the reading of the Yamanaka soil hardness meter and the soil hardness for the Kuroboku soil (Watanabe, 1992) was used for obtaining soil hardness values. Undisturbed cylindrical cores of 5-cm diameter and 5-cm height were taken to measure the saturated hydraulic conductivities, dry bulk densities, particle densities, and water content. Saturated hydraulic conductivities were measured by using the falling-head method with these undisturbed cores. *In situ* saturated hydraulic conductivities were determined with a Guelph Permeameter (Reynolds and Elrick, 1987). In every measurement of the Guelph Permeameter, the saturated hydraulic conductivity and the matric flux potential were determined by least-squares method by using three steady depths (5, 10, 15 cm) measurement (Reynolds and Elrick, 1987). In the calculation of Guelph Permeameter, proportionality parameter, C , was determined by equation (3) using b_1 , b_2 and b_3 values of loam soil in Table 1.

Table 1 Parameters for Equation (3) (after Zhang, 1998)

Soil texture	b_1	b_2	b_3
Sands	2.074	0.093	0.754
Structured loams and clays	1.992	0.091	0.683
Unstructured clays	2.102	0.118	0.655

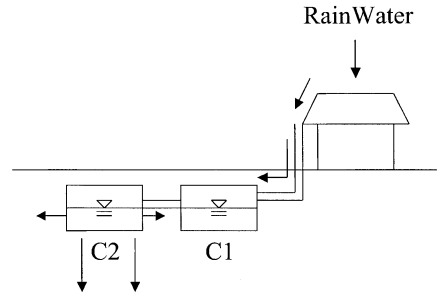


Fig. 1 Schematic diagram of a rainwater infiltration system.

2.3 Buried Container for Excess Rainwater

The rainwater infiltration system (Fig. 1) is briefly described. Rainwater flows from a rooftop to the first buried storage container (C1). The first container preserves 3 m³ of rainwater, and, when the rainwater exceeds this volume, it flows to a second buried container (C2). The rainwater in the second container infiltrates into the soil from its base and permeable walls. A method will be shown here for estimating the recharge rate from the second container to the vadose zone; the second container is referred to as “the container” or “the cubic container” in this paper. This system uses excess water to recharge groundwater instead of just draining the excess water into a drainage pipe. At the study site, the percolation system container is buried at a depth of 1 to 2 m and drains into the Tachikawa loam layer.

2.4 Method of Estimation

2.4.1 Assumptions

A simple method is described to estimate the percolation from a cubic container by calculating the percolation rate from a cylindrical container with an identical volume, i.e., the same

base area and the same height. Two assumptions are made here. The first is that the recharge rate from a cubic container and a cylindrical container is nearly equal when the area of the base of each container is identical. The second is that the matric flux potential is negligible.

2.4.2 Procedure

Reynolds and Elrick (1987) developed a numerical model of infiltration from a cylindrical well with a constant pressure to calculate saturated hydraulic conductivity using the Guelph Permeameter method. According to their theory, a steady recharge from a cylindrical well into uniform and unsaturated soil is expressed as

$$Q = \frac{2\pi H^2 K_s}{C} + \pi a^2 K_s + \frac{2\pi H \phi_m}{C} \tag{1}$$

where Q ($m^3 s^{-1}$) is the steady recharge, K_s ($m s^{-1}$) is the saturated hydraulic conductivity, H (m) is the steady depth of water in the well, a (m) is the well radius, ϕ_m ($m^2 s^{-1}$) is the matric flux potential, and C is a dimensionless proportionality parameter primarily dependent on the H/a ratio. The first term on the right hand side of Equation (1) expresses flow out of the sidewall of the well, the second term expresses flow from the base of the well, and the third term expresses the unsaturated component of the flow.

The matric flux potential, ϕ_m , is defined by

$$\phi_m = \int_{\phi_i}^0 K(\phi) d\phi ; \phi_i \leq \phi \leq 0 \tag{2}$$

where ϕ (m) is the soil water pressure head, ϕ_i (m) is the initial pressure head in the soil surrounding the well, and $K(\phi)$ is the unsaturated hydraulic conductivity ($m s^{-1}$) at the pressure head of ϕ .

Zhang (1998) provided empirical formula to describe C from the data calculated numerically by Reynolds (1986) :

$$C = \left(\frac{H/a}{b_1 + b_2 H/a} \right) b_3 \tag{3}$$

where the values of b_1 , b_2 , and b_3 are shown in Table 1.

Based on this theory, a simple method is

shown for calculating the recharge rate from a cubic container, (i.e., well), with a base area of S (m^2). According to the first assumption, the steady recharge Q from the container is equal to the steady recharge from a cylindrical well with an identical base area, where

$$S = \pi a^2 \tag{4}$$

By solving this equation with a , substituting it into Equation (3), substituting the value of C into Equation (1), and assuming $\phi_m = 0$, the following equation is obtained :

$$Q = \left[2\pi H^2 \left(\frac{b_1}{H} \sqrt{\frac{S}{\pi}} + b_2 \right) b_3 + S \right] K_s \tag{5}$$

When the values of K_s , S , H , b_1 , b_2 , and b_3 are given, the value of Q can be calculated, and the steady recharge from the container using Equation (5) can be estimated.

3. Results and Discussion

3.1 Soil Profile

From the observation of the soil pit, from the surface to 0.2 m was a dressed gravel layer ; 0.2 to 0.95 m was a dressed soil layer ; the Kuroboku soil layer was 0.95 to 1.2 m from the surface ; and the Tachikawa loam layer, at the bottom of the pit, was from 1.2 to 2.0 m. The profile of the soil hardness and volumetric percentages of the solid, water and gas phases are shown in Fig. 2. As shown by the profile of the soil hardness, the soils were remarkably harder at the surface 0.5-m layer and at the 1.7-2.0 m layer than at the layer of 0.5 to 1.7 m. The solid ratios of the dressed soils were 40 to 45%, and those of Kuroboku soil and Tachikawa loam were 19 to 21%.

Saturated hydraulic conductivities measured *in situ* by the Guelph Permeameter and the falling-head method with undisturbed core samples are shown in Fig. 3. Each of the core sample values is the logarithmic means of five replicated samples. The saturated hydraulic conductivities of the soil surface, i.e., the dressed soil layer, were in the order of $10^{-10} m s^{-1}$. The very low value of K_s in the dressed soil layer is because of extensive compression of the surface soil to make a rigid ground for

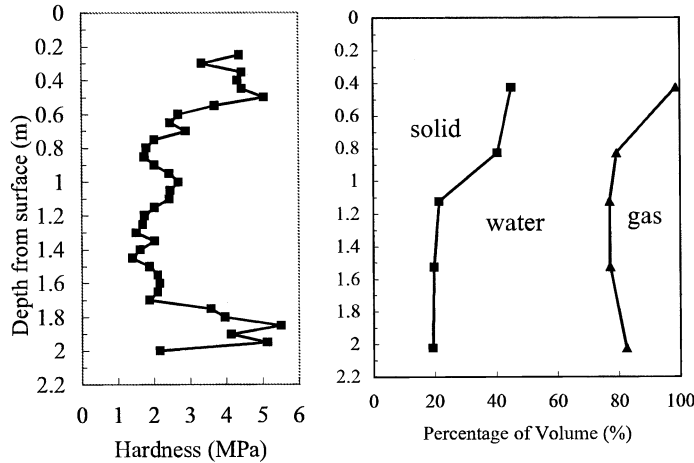


Fig. 2 Soil hardness and volumetric percentages of solid, water and gas phases.

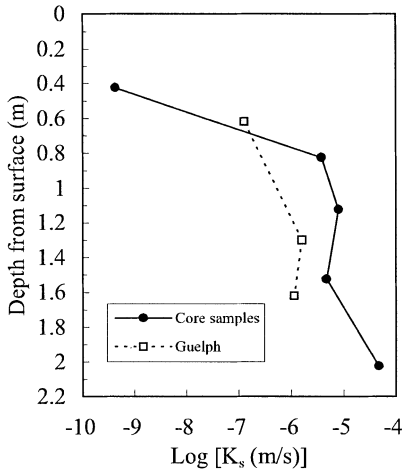


Fig. 3 Saturated hydraulic conductivity, K_s , measured by the falling-head method with undisturbed core samples and the Guelph Permeameter *in situ*.

construction. The saturated hydraulic conductivities increased dramatically at a depth between 0.8 and 1.5 m from the surface to the order of 10^{-6} m s⁻¹, and they increased to the order of 10^{-5} m s⁻¹ at a depth of 2 m. These results agree with the K_s value of about 10^{-5} m s⁻¹ of the Tachikawa loam soil measured by Tada (1965). The bulk density of about 0.5 Mg m⁻³ in Tachikawa loam layer also agrees with the measurement of Tada (1965). This profile is

useful to explain the merits of this infiltration system in this region because the rainwater does not percolate easily into soil if it falls directly onto the ground, where the K_s is very low ; however, when the rainwater flows to the underground and percolates into a much more permeable soil layer by this system, the rainwater is recharged much more easily because the K_s is higher.

The field saturated hydraulic conductivity measured by the Guelph Permeameter was lower than the laboratory saturated hydraulic conductivity measured by the falling-head method with undisturbed core samples from the depth of 1.3 and 1.6 m (Fig. 3). A possible reason of this is that we compacted the inner wall of the observation well when we dug a hole for the Guelph Permeameter. According to the Guelph Permeameter measurement, the matric flux potential was 1.5×10^{-7} m² s⁻¹ at the depth of 1.3 m.

3.2 Calculation of the Recharge Rate

Parameters used for the calculation are shown in Table 2. By putting the values of b_1 , b_2 and b_3 of loam in Table 1 and the parameters in Table 2 into Equation (5), the steady recharge rate was calculated as $Q = 7.80 \times 10^{-5}$ m³ s⁻¹.

Table 2 Parameters used for the calculation

K_s	$5.0 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$
S	4.7 m^2
H	0.94 m

3.3 Evaluation of the Model

3.3.1 Effect of the shape of the container

At first, we will evaluate the first assumption that the recharge rate from a cubic container and a cylindrical container is almost the same when the area of the base of each container is identical. It is reasonable to assume that the steady recharges from the bases of both wells are equal because each base area is equal, and, inevitably, the depths of stored water are equal in each well. On the other hand, the side areas of cubic and the cylindrical containers are different, so it may seem inappropriate to assume that the steady recharge from both sides of the wells is equal. Actually, simple geometrical mathematics indicates that the side area of the cubic container is about 12.8% larger than that of the cylindrical container. It is necessary to point out that the first assumption and resultant estimation of the first term of the right-hand side of Equation (1) may underestimate the recharge rate from side wall of the well, and it may be as much as 12.8% larger than the estimated value. From a practical viewpoint, it is better to underestimate than to overestimate the recharge rate because the underestimated value works as a minimum estimate of the percolation capacity of the container.

3.3.2 Effect of the matric flux potential

According to the value of the matric flux potential measured by the Guelph Permeameter, the third term on the right of Equation (1) is $1.74 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, and it is only 2.2% of the recharge rate calculated. Therefore ignoring the matric flux potential is justified in the condition of the experimental site.

However, the matric flux potential depends on the initial water content and soil type. According to Reynolds and Elrick (1987), the

matric flux potential component of Equation (1) increases in relative importance with decreasing well radius (a), with decreasing depth of ponding in the well (H), with finer soil texture, and with decreasing background soil wetness (decreasing ϕ_i). When applying this model to actual site, background soil wetness is a variable and the recharge rate calculated from Equation (1) is a function of the initial water content. Therefore a minimum estimate of the recharge rate can be obtained by assuming maximum initial water content. In this model, by assuming $\phi_m=0$, we get the minimum estimate of the recharge rate.

3.3.3 Technical notes

The K_s of the permeable wall of the container should be larger than the K_s of the surrounding soil. Otherwise, the steady recharge is determined by the K_s of the permeable wall, not by the K_s of the surrounding soil. Moreover, the K_s of the permeable wall may decrease with time by the effect of clogging, and therefore the system should be maintained by cleaning the permeable wall.

4. Conclusion

We showed a simple method to estimate excess rainwater percolation from a buried container into the surrounding soil of a vadose zone. In the study site where the rainwater infiltration system was used, the saturated hydraulic conductivities of the soil surface were in the order of $10^{-10} \text{ m s}^{-1}$, and they increased to the order of 10^{-6} m s^{-1} at a depth between 0.8 and 1.5 m. They increased further to the order of 10^{-5} m s^{-1} at a depth of 2 m. Using a K_s value of $5.0 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$, the steady recharge rate was calculated as $7.80 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. In the model presented here, the effect of the matric flux potential was ignored. Ignoring the matric flux potential in the studied site was justified by the calculation that the matric flux potential was 2.2% of the recharge rate, but it must be noted that the matric flux potential becomes larger when the initial water content is smaller and when the soil texture is finer. The model pre-

sented here may underestimate the recharge rate because of two assumptions, and it gives a minimum estimate of the maximum possible recharge rate from the container. At actual construction site at Chiba prefecture, Japan, the model has been implemented successfully to estimate the rainwater percolation rate to groundwater.

References

- Ishizaki, K. (1985) : Infiltration capacity of a pipe buried in the ground and its application. Data Nat. Inst. of Civil Eng., **2246** : 35-53. (in Japanese)
- Japanese Association of Groundwater Hydrology Ed. (2001) : Infiltration of rainwater and fostering of groundwater. Rikou Tosho Co. Tokyo, Japan. (in Japanese)
- Reynolds, W.D. (1986) : The Guelph Permeameter

- method for in situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity and matrix flux potential. Ph. D. Dissertation. University of Guelph, Guelph, Ont.
- Reynolds, W.D. and Elrick, D.E. (1987) : A laboratory and numerical assessment of the Guelph Permeameter method. Soil Sci., **144** (4) : 282-299.
- Tada, A. (1965) : On the compaction curve of the Kanto loam and its permeability I. Trans. Agr. Eng. Soc. Japan, **14** : 36-40. (in Japanese)
- Watanabe, H. (1992) : Studies on the soil profile modification in humic Ando soils in upland field. Special Bull. Chiba Prefect. Agric. Exper. Stat., **21** : 1-98. (in Japanese)
- Zhang, Z.F., Groenevelt, P.H. and Parkin, G.W. (1998) : The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter. Soil Till. Res., **49** : 219-221.

埋設型浸透升からの雨水浸透量簡易予測手法について

関 勝寿*・宮崎 毅*・溝口 勝*・井本博美*・中谷耕太郎**・宮澤 博**

* 東京大学大学院農学生命科学研究科

** 株式会社エンライト・コーポレーション

要 旨

新しく開発された雨水利用システムの性能を評価した。この雨水利用システムは、屋根に降った雨水を地下に埋設された貯留タンクに一時的に貯め、貯留タンクから溢れた水を貯留浸透槽に導き、地下に浸透させる。貯留浸透槽は底面および側面からの余剰水を浸透させるよう設計されているため、浸透槽の処理能力を知るには、土中への浸透流量を計算する必要がある。この貯留浸透槽が埋設されている現場では、土壌表面の透水係数は非常に小さく、貯留浸透槽が埋設されている立川ローム層では透水係数が地表面に比べて大きいことが分かった。ゲルフパーミアメーターの解析に広く用いられている定水位円筒型井戸からの定常浸透流解析法を元にして、矩形浸透升からの定常浸透流簡易予測法を提案した。この予測法を用いて、土壌の透水係数と矩形浸透升の大きさを与えることで、定常浸透流量を計算することができた。

キーワード : 雨水浸透, 雨水利用, 定常浸潤, 透水係数, 埋設型浸透升

受稿年月日 : 2003年9月3日

受理年月日 : 2004年4月30日

Wonderful 中山間地農業

佐藤 泰一郎*

はじめて棚田を意識したのは、1989年の5月末であった。不謹慎ではあるが調査ではなく、溪流釣りの帰り道であった。一般的に釣りは、早暁に一番のポイントに入渓するので、里を通るときにはまだ暗闇であることが多い。その日も同様に、沢を釣り上り、尾根を越えて沢を釣り下り、帰途にダムの堰堤を越えたそのときに、対岸の杉林の向こうに棚田が見えた。明らかに遊びの痕跡を残したまま、対岸の棚田の頂部へ立ってみると、「千枚田」、「蓑笠田」と表現されるままの水田斜面であった。折りしも田植え時期で、家族や親戚と思われる多くの人たちがあちらこちらで、ハンドトラクタでの作業を除いて、腰をかがめて人力で作業をしていた。

関東平野北端の火山灰土壌の「金沢高野の吊るし米」と揶揄された貧村も、高度経済成長に伴って都市の波が押し寄せ、農地が虫食い穴のように亡くなっていく時代に育ち、土地生産性と労働生産性を追求する農業環境を整備するための学習をしてきた自分にとって、棚田のインパクトは非常に強かった。残念ながら、それまで得てきた知識を応用できるところが全くないと感じた。

機会を得て、米国、豪州の畑作地帯を訪れたことがある。米国中西部の一辺が1マイル(約1.6km)を超える発芽直後のダイズ畑では、畝の線が遠くでは糸になり、ついに薄緑色の絨毯に変身した。豪州グレー・マーレイ流域の1区画が400haを超える畑作地帯での綿花収穫後の様相は、残雪の砂漠であった。GPSを装備して位置を常に把握可能し、キャビンに空調設備が整い音楽が流れる、クローラー走行の出力600PSを超えるトラクターが30m幅を一気に耕耘したときに舞い上がる土煙は、さながら西部劇映画に出てくる騎兵隊が走っていったかのようにであった。ともに日本とは比べものにならないほどの大規模な農業を目の当たりにして驚いた。まさに、土地生産性と労働生産性の向上を追及する農業を目指していた。そして、このような大きな農地から世界へ食糧を供給するという自負を強く感じた。

一方では、土壌および農地の劣化に関するいくつかの深刻な問題を知った。大型機械の導入による踏圧による土壌圧縮とそれに続く硬化、固結化、土壌圧縮防止のための耕耘の制限や不耕起栽培に伴う雑草繁茂に対する除草剤散布効果の持続性、単作による害虫発生と防除、畑

地からの土壌侵食、過度の地下水汲み上げによる水資源の不足と水質悪化などである。まるで、モグラ叩きゲームのように後から問題が発生する。農家は、これらの問題を深刻に受け止め、今後の将来像について、教育・教養の向上と情報入手の重要性を認識している。

棚田の調査とは、急な斜面を登ったり降りたりして、体力の消耗が激しいものである。特に夏場は、蛇などがいてさらに気が重くなることもしばしばである。農家の方からも、労いのことばなどいただいたりするが、話の中に、1000年も前から水田として利用され続けているという話を聞いた。歴史を調べてみると事実であり、自分の教養不足を痛感した。水田における稲作農業は、持続可能で同じ場所で繰り返し耕作ができる、時間軸の深い、農業である。これは、先人からの知恵を受け継ぎながら創意工夫が続けられてきた結果であることは疑いもないものである。棚田の調査を進めていくと稲作のためには水田整備だけではなく、山林の整備も重要であることに気がつく。水資源を涵養するばかりでなく、土層改良や肥培管理のために大量に必要なカヤなどの草の供給源(カヤ場)になる。

このようにして考えてみると棚田とはうまくできていて、上から下へ(上流から下流へ)必要なもの(エネルギー)をおろすと米が出来上がるというものである。同じことが、畑作物についてもおこなわれている。また、見た目(農地の高低さ)ほど、辛い作業ではないという話を聞いた。むしろ、平地で同じ作業をするととなると人力だけでは難しく、規模拡大に伴いさらに機械力が必要になる。中山間地の農業は、人力に限界があり、規模拡大が望めないのも、生産量の増加は見込めない。しかし、土壌圧縮を誘因するような問題は発生しない。つまり、短期的には大きな利益は得られないが、山林の恵みを利用しながら持続的に耕作が続けられるのが、中山間地農業である。

火山灰土壌ではスコップ一杯の土を容易に掘り起こすことができるが、中山間地の棚田では石礫が多く剣先を10cm押し込むのにも苦労する。ツルハシを抱えて畔を歩きながら、もしかして中山間農業は魅力的かも……。

受稿年月日: 2004年5月15日

受理年月日: 2004年5月15日

畑の土地と水

— 湿潤地域の畑地灌漑論 —

駒村正治著

東京農業大学出版会 2004年2月発行

A5版 137ページ ISBN4-88694-046-3 定価本体1,400円+税

本書は、畑地灌漑や農地工学の研究に長年携わってきた著者による畑地灌漑のガイドブックである。限られた紙幅の中で、畑地土壌の基礎に始まって畑地灌漑の基礎、事例紹介、多目的利用、及び今日の課題までを簡潔に、しかし基礎知識から丁寧に記述されている。本書を通読することによって、畑地灌漑に関わる一通りの知識を得ることが出来る。

第1章では「畑地土壌の基礎」として、畑地や畑地土壌、土壌断面調査、畑地土壌の水分特性について、第2章では「畑地灌漑の基礎」として、畑地灌漑の歴史や農業用水の種類、用水量計画、灌漑方式について、それぞれ概要や基礎知識が簡潔に述べられている。

第3章では「普通畑における灌漑」、第4章では「樹園地における灌漑」、第5章では「ハウスにおける灌漑」として、いずれも灌漑実施地区の事例紹介がなされている。これらの章では単なる事例紹介のみに留まらず、通読すれば事例紹介を通じて畑地灌漑施設の構成や用水計画の実際、多目的利用を含めた畑地灌漑地区の営農の実際について、一通りの知識が習得されるように記述されている。

第6章では「畑地灌漑の多目的利用」として、畑地灌漑の主目的である作物生育に係わる不足水分補給以外の畑地灌漑施設利用について、土地改良法上の農業用水の定義や多目的利用の種類、事例紹介がなされている。

第7章では「畑地灌漑用水計画の検討」として、日本における畑地灌漑の現状を踏まえた問題点を(1)用水計画の用水使用実態との乖離、(2)ローテーションの不成立、(3)畑地灌漑の導入と農家経営、の3点に整理し、(1)に対して計画用水量縮小に向けた節水灌漑の提案が述べられている。

第8章では前章までと多少と趣を変え、「畑地造成地の土壌と灌漑—苗場山麓の農地造成—」として、新潟県苗場山麓における改良山成畑工による農地造成事業の紹介を通じて、造成畑地における畑地灌漑を含めた土壌物理的諸問題とその対応策について述べられている。

本書は農業、あるいは土壌や水利に係わる素養を持つ者であれば難しくない内容であり、畑地灌漑の初心者や畑地灌漑に対して専門知識を持たない農業関係者への畑

地灌漑ガイドブックの役割を果たす書物である。一般読者を対象とした入門書とは異なるので広範な読者を読み手とすることは難しいであろうが、公共事業に対して厳しい視線が注がれる今、畑地灌漑に対して何らかの知識を求める者に対して正しい知見を与えるガイドブックとして役立つことを期待したい。

全般において要領よくまとめられている本書において、欲を言えば畑地灌漑の将来方向を考える第7章においては、読者がこの問題を考えるための材料をもっと盛り込んだ方がよいように思う。例えば、著者においては畑地灌漑の現状を踏まえた問題点の整理において、事業費と維持管理費の縮減の必要性を指摘し、畑地灌漑事業のソフト面の充実を求めている。灌漑施設の建設・運営においても経済合理性は重要であり、需要主導型の畑地灌漑施設といえども効率的な施設計画・利用に向けては開水路による水田灌漑のような水管理は必要なくとも農家側における何らかの水管理は必要であろう。このことに対しては、本章で記述がある先進地区で発生している慣行的な水利用が一つの参考になると考えられる。この発生しつつある慣行的な水利用について、具体的な紹介があれば、畑地灌漑の将来方向に対する読者の認識はより深まったであろう。

まえがき

第1章 畑地土壌の基礎

第2章 畑地灌漑の基礎

第3章 普通畑における灌漑

第4章 樹園地における灌漑

第5章 ハウスにおける灌漑

第6章 畑地灌漑の多目的利用

第7章 畑地灌漑用水計画の検討

第8章 畑地造成地の土壌と灌漑 — 苗場山麓の農地造成 —

あとがき

索引

吉迫 宏 ((独)農業工学研究所地域資源部)

受稿年月日: 2004年4月30日

受理年月日: 2004年4月30日

I. 2003 (H15) 年度第4回事務局会議

日時: 2004 (H16) 年1月16日 (金) 18:00~20:00
 場所: 岡山大学環境理工学部

出席者: 赤江会長, 井上編集委員長, 成岡庶務幹事, 諸
 泉会計幹事, 吉迫編集幹事 (長谷川副会長: 電
 子メール参加)

議題:

1. H15年度末のとりまとめについて

- (1) 会計幹事から
 - ・2003.4.1~2004.1.15の期間の収入・支出報告
- (2) 編集幹事から
 - ・編集委員会事務局報告
 - ・「書評」「土粒子」の充実化を事務局へ協力依頼
 - ・「土壌の物理性」第96号の編集・発行計画案報告
- (3) 庶務幹事から
 - ・国立情報学研究所の「学協会情報発信サービス; 検索機能」に登録報告
 - ・日本学術会議第19期第6部報告
 - ・同上 平成18年度科研費補助金に係るキーワードについて報告
 - ・同上 農業総合科学研究連絡委員会について報告

2. H16年度の方針について

- (1) 幹事の異動および運営方法について (事務局了承)
- (2) 新幹事について (事務局了承)
- (3) 編集委員会方針 (事務局了承)
 - ・「土壌の物理性」第97~99号の方針・計画について
 - ・投稿規定/投稿案内/原稿執筆要領の見直しについて
 - ・投稿規定等の英文化について
 - ・読者の氏名一覧掲載について
- (4) 第46回シンポジウムの開催について (事務局了承)
 - ・平成16年11月20日 (土), 岡山大学創立五十周年記念館にて開催
 - ・シンポジウムテーマ「フィールドサイエンスと土壌物理」

- (5) 企画検討委員会
- (6) 予算
- (7) 次期事務局の方向・方針 (事務局了承)

3. 事務局幹事の所属変更および追加

- (1) 所属変更
 - 成岡 市 庶務幹事 (総務担当): 岡山大学から三重大学へ異動
- (2) 幹事の追加
 - 渡邊晋生 庶務幹事 (広報担当): 三重大学生物

資源学部

II. 2003 (H15) 年度第4回編集委員会

開催形式: 電子会議

日時: 質疑応答・討論

2004年2月3日 (火)~2月9日 (月)

採決 2004年2月10日 (火)~2月13日 (金)

出席委員: 石黒宗秀 井上久義 井上光弘 木原康孝
 酒井俊典 櫻井克年 佐藤泰一郎 (議長へ委任)
 田中宏明 近森秀高 取出伸夫 中尾誠司
 中村公人 西村直正 平沢 正 三浦健志
 吉川省子 吉田正則 (委員17名中17名参加: 成立)

○議事内容

1. 報告

編集委員会事務局より編集委員会事務局報告がなされ, 全会一致で承認された。

2. 議題

- (1) 編集委員会事務局より提案のあった「土壌の物理性」第96号編集・発行計画は原案通り全会一致で採択された。
- (2) 編集委員会事務局より提案のあった「土壌の物理性」2004年度編集・発行計画は原案通り全会一致で採択された。
- (3) 編集委員会事務局より提案のあった「読者への謝意について」は原案通り全会一致で採択された。

3. その他 (連絡)

次回編集委員会の開催予定について。

4. 質疑応答・討論

「報告」「議題」「その他 (連絡)」に対する質疑応答・討論を行った。

III. 「土壌の物理性」2004年度編集・発行計画

○基本的な編集・発行様式

- ・第97~99号の3冊を発行する。2004年7月/11月/2005年3月発行を基本とする。
- ・第97・98号については自主投稿原稿を主に掲載する。
- ・第99号については同年度に開催されたシンポジウム特集とし, 自主投稿原稿も併せて掲載する。シンポジウム特集の編集様式については, シンポジウム準備作業に平行して編集委員会で検討・決定する。
- ・自主投稿原稿の掲載は受理日付順を原則とし, 可能な限り早く掲載する。
- ・各号には上記原稿の他, 原則として下の原稿を掲載する。

「巻頭言」

- ・依頼原稿として編集委員長より執筆を依頼する。
- ・依頼者は編集委員長が学会役員ほかのしかるべき会員より選考する。

「土粒子」

- ・編集委員長より編集委員またはしかるべき会員に投稿を依頼する。
- ・自主投稿があった場合は「投稿規定」等に従い、掲載する。
- ・各号1本程度とする。

「書評」

- ・編集委員長より編集委員またはしかるべき会員に投稿を依頼する。
- ・自主投稿があった場合は「投稿規定」等に従い、掲載する。
- ・発行予定月より1カ年以内に刊行された書籍を対象とするが、特に会員に紹介することが有益と考えられる書籍については1カ年以上前の書籍も対象とする。
- ・各号1本程度とする。

「編集後記」

編集委員長より編集委員に執筆を依頼する。

「会務報告」

各幹事が分掌する会務について作成する。

IV. 会員消息 (2004.4.23 まで)

	氏名
入会	正会員 伊丹 勝彦
	正会員 中井 ひとみ
	学生会員 王 麗萍
退会	正会員 秋山 良司
	正会員 今野 一男
	正会員 早坂 猛
	正会員 馬場 秀和
	正会員 丸谷 聖一
	正会員 太田 猛彦
	正会員 矢橋 晨吾
	正会員 蝦名 春三
	正会員 村山 忠一
	正会員 福桜 盛一
	正会員 大滝 英治
正会員 森正 克英	
正会員 石田 智之 (逝去退会)	
正会員 山本 洋久 (逝去退会)	

2004.4.23 現在会員数

正会員 409

学生会員 22

賛助会員 10

海外正会員 5

計 444名

一編集後記一

昨今のフィールド研究では、生産者との連携協力が不可欠だが、こと水質研究に関しては、その難しさを痛感する。もとよりフィールド研究は、唯一無二の“現場”を相手にしなければならないから、調査研究への協賛が得られず、圃場内への測器の設置が断られるなど、様々な制約を受ける。

しかしその一方で、現場の問題を解決するためには、水質改善への処方箋を示すなど迅速な対応が求められる。そこでこうした場合、過去の文献データやパラメータを利用し、不足する実測データを補完することになる。評価精度がある程度犠牲になるが、現実の要請に応えるためには避けて通れない道である。このような状況

下で、現地に適用可能な文献データに出会ったときの喜びはひとしおであるが、ふと、10年、20年先の文献データの枯渇に不安を覚える。果たして今の自分の仕事は、未来からのこの種の要請に応えられるかどうか。先達の残した業績をまえに、忸怩たる思いを禁じえない。

とかく出口の見えにくい基礎研究、貴重なデータの集積につながる長期的研究が冷遇される状況の中において、先達の残した文献データのありがたみを益々強く感じるのである。自分を差しおいて恐縮だが、「土壌の物理性」がこれからも、後生に評価され、利用される情報を数多く生み出すことを、心より願うものである。

(編集委員 吉田正則)

土壌物理学会

事務局構成

会 長	赤江 剛夫 (岡山大学)
副 会 長	長谷川周一 (北海道大学)
庶務幹事 (総務)	成岡 市 (三重大学)
“ (広報)	渡邊 晋生 (三重大学)
会計幹事	諸泉 利嗣 (岡山大学)
編集幹事	吉迫 宏 ((独) 農業工学研究所)
会計監査	金木 亮一 (滋賀県立大学)
“	長野間 宏 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)
編集委員会 委 員 長	井上 久義 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)
委 員	石黒 宗秀 (岡山大学)
	井上 光弘 (鳥取大学)
	木原 康孝 (島根大学)
	酒井 俊典 (愛媛大学)
	櫻井 克年 (高知大学)
	西村 直正 (岐阜大学)
	佐藤泰一郎 (高知大学)
	田中 宏明 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)
	近森 秀高 (岡山大学)
	取出 伸夫 (三重大学)
	中尾 誠司 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)
	中村 公人 (京都大学)
	平沢 正 (東京農工大学)
	三浦 健志 (岡山大学)
	吉川 省子 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)
	吉田 正則 ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構)

土壌の物理性 第97号 (会員配布) 2004年7月20日発行

発行 土 壌 物 理 学 会

〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1

岡山大学環境理工学部

環境管理工学科 生産基盤管理学分野内

電 話 086-251-8874

E-mail narioka@bio.mie-u.ac.jp

URL <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/index.html>

銀行口座 中国銀行 法界院支店 (店番号 104)

普通 1775225 土壌物理学会 会長 赤江剛夫

編集委員会事務局 (投稿原稿送付先)

所在地はホームページ (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssp3/index.html>) で最新のを確認して下さい。

E-mail kibyosi@ml.affrc.go.jp

印 刷 創文印刷工業株式会社

〒116-0011 東京都荒川区西尾久7-12-16

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外は、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会

TEL : 03-3475-5618 FAX : 03-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

Notice about Photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright owner of this publication.

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

41-6 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

TEL : 81-3-3475-5618 FAX : 81-3-3475-5619 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

Journal of the Japanese Society of Soil Physics

No. 97

July 2004

Contents

46th Japanese Society of Soil Physics Symposium (Information)

Recommendation of Japanese Society of Soil Physics Prize candidate (General invitation)

ForewordJ. CHIKUSHI··· 1

Original Papers

Field Estimation of Soil Dry Bulk Density Using Amplitude Domain Reflectometry
Data.....K. WIJAYA, T. NISHIMURA, M. KATO and M. NAKAGAWA··· 3

Precision analysis of Partitioning Interwell Tracer Test for estimating a NAPL in
aquiferJ. NISHIWAKI, C. TANG, Y. SAKURA, M. MIZOGUCHI and T. MIYAZAKI··· 13

Notes

A Simple Estimation of Excess Rainwater Percolation from a Buried Container into
a Vadose Zone
.....K. SEKI, T. MIYAZAKI, M. MIZOGUCHI, H. IMOTO, K. NAKAYA and H. MIYAZAWA··· 25

Readers' columnT. SATO··· 31

Book reviewH. YOSHISAKO··· 33

Announcements 35

Editor's Postscript 37

Japanese Society of Soil Physics

Department of Environmental Management Engineering
Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University
3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530, Japan