

# 環境土木実験 H28(2016)年版

担当教員： 地域保全工学講座 成岡 市

授業日： H28(2016)年度 前期(火曜日) 13:00～16:10

場所： 生物資源学部棟 2 F 物理実験室(203室)

\_\_\_\_\_班 学籍番号\_\_\_\_\_

氏 名\_\_\_\_\_



## まえがき

人類は、「農業」という人為的な活動を自然界に働きかけることで食料を獲得している。そして、「農地」という生産基盤を開拓し、管理することで農産物を生産してきた。

こうした農産物生産の技術は、長い人類の歴史において蓄積された知恵であり、人類最大の財産でもある。農業農村工学(あるいは農業土木学)は、そうした知恵の一部としての学問と技術の集大成である。

本来、農業農村工学を学ぶ者は、自然に対する鋭い洞察力と人間に対する優しい包容力を身につける必要がある。

近年、深刻な自然災害が各地で発生している。また、開発に伴う土壌流失、化学肥料や農薬の河川への流出、家庭や工場からの排水による水質悪化、それに伴う湖沼などの富栄養化など、自然に対する過度の働きかけのために人間生活の環境そのものが脅かされてきている。

こうした状況にある今だからこそ、生物生産の機能に加えて、地球・地域への優しさを追究した人材の出番と考える。

本授業は、生物資源の基盤である土や水に実際に触れ、その性質やその中で起こっている現象を科学的に理解することをねらいとしている。

まず、感覚的に土や水に親しんでもらいたい。しかし、それをただ感覚的に並べてみても説得力がない。その感覚を確かなものとするために、科学的にデータを取り、正しい科学のことばで表現することが必要である。ここで取り上げるテーマは現場と比べると単純過ぎるかも知れないが、本授業を通して単純な系内の問題でもじっくりと考え、問題に対する具体的な取り組み方を学んでほしい。

2003年4月初版

2016年4月改訂

授業担当教員 記す

# 目次

<b>授業の進め方</b>	1-11
<b>実験番号 1) 土壌をはかる</b>	12-21
1-1) 土壌をはかる(1)	
1-1. はじめに	
1-2. 土壌三相	
1-3. 土壌の乾燥密度の測定	
1-4. 土粒子の比重の測定	
1-2) 土壌をはかる(2) 追加実験「ダイレイタンシー」に触れる	
<b>実験番号 2) 土粒子の大きさ</b>	22-31
2-1. はじめに	
2-2. 測定の原理	
2-3. 比重計の原理	
2-4. 土壌の粒度測定 (粒度分析)	
2-5. 粒子の沈降実験 (補足実験)	
<b>実験番号 3) 土壌中の水の流れ</b>	32-36
3-1. はじめに	
3-2. ダルシー則と飽和透水係数	
3-3. 変水位透水試験の原理	
3-4. 土壌の飽和透水係数の測定	
<b>実験番号 4) 土壌中の熱の流れ</b>	38-42
4-1. はじめに	
4-2. 熱電対の原理	
4-3. 熱伝導の理論	
4-4. 熱電対の検定	
4-5. 土壌の熱伝導率の測定	
4-6. 手作り熱電対 (補足実験)	
<b>実験番号 5) 土壌水をはかる</b>	44-48
5-1. はじめに	
5-2. COD とは?	
5-3. 過マンガン酸カリウム法の原理	
5-4. 土壌水の採取と水質測定	
5-5. 簡易水質測定キット "パックテスト"	50-55

**実験番号 6) 土壌の履歴書を見る (土壌断面)** 56-66

- 6-1. はじめに
- 6-2. 断面調査法
- 6-3. ピット試掘と断面調査

**実験番号 7) 土壌断面を抜き取る (マイクロモノリスの作成)** 68-69

- (1) 野外での柱状土壌モノリス採取
- (2) 室内での薄層土壌モノリス作製
- (3) 野外で直接薄層土壌モノリスを作製する方法
- (4) マイクロモノリスの採取

**実験番号 8) 微気象を測る (気温、湿度、露点温度、蒸発量、水温、大気圧etc.)**

68-73

- 8-1. はじめに
- 8-2. 室内において以下の諸項目について計測する
- 8-3. 水平面日射量 (太陽放射量) と蒸発量の関係
- 8-4. まとめ

**自由実験(1985 – 2015年度)** 74

- レポートの事例 76-95
- 自由実験課題(1985年～2015年) 96-99

**■いくつかの話題**

- 話題1** / 「技術者」とは 100
- 話題2** / 「研究思考」(抜粋) 102
- 話題3** / 科学論文を書くにあたって 110
- 話題4** / (日本の)土壌物理学は、「未完成」であるがゆえに・・・ 114
- 話題5** / 研究ノート(実験ノート)のつくりかた(一例)廣住豊一 116
- 話題6** / 「堆積の法則」と「リップルマーク」 120
- 話題7** / 「土壌断面標本(モノリス)」の作り方 122

## 授業の進め方

### ■ 実験の心得と安全の確認

各自「安全マニュアル」を熟読し実験に臨んでください。マニュアル記載事項を守る  
こと。とくに下記事項は十分に注意してください。

- (1) 不注意により、器具の破損、機器の故障を招いた場合（→場合によっては学生  
保険を適用します）
- (2) 実験終了時の電源、ガス元栓の消し忘れ、および清掃不備

### ■ 評価

実験終了後、結果をレポートにまとめて提出してください。各回の実験レポートの総  
合点(1 レポート 10 点)に自由実験成果報告書(レポート点+成果報告書点=100  
点)の評点とあわせ、環境土木実験の評点(計 100 点満点)とします。

なお、欠席は原則として認めません。

優(AA, A):100～80 点、良(B):80～70 点、可(C):70～60 点、不可(D):60～0 点

### ■ 実験ノート

初回の実験が始まるまでに、各自 A4 版(方眼入り)の実験ノートを用意してくださ  
い。各実験の前にはノートに、実験名、実験目的、実験方法などをまとめておき、実験  
の内容と方法、原理をよく理解しておくように努めてください。

実験時には、

1. 実験タイトル
2. 実験年月日、時間、天候、共同実験者
  - (1)実験目的(実験前に既に書かれていれば実験時には書かなくてよい)
  - (2)測定値(グラフ、表)
  - (3)実験中に気づいたこと

などをノートに明記して下さい。

また、実験終了時にはノートを担当教員(あるいは TA)に提示して検査印を受けてく  
ださい。

### ■ レポートの提出

レポート(報告書)は、他人に見せるものです。実験内容を知らない他人が  
読んだとしても、何が書いてあるか理解でき、内容を把握できるように(丁寧  
に、見やすいものを)工夫することが重要。レポートはノートではありません

ん。値や式の羅列に留まらないように工夫してください。

以下の要領で作成したレポートを、提出期限{指定された期限(火曜日)の授業前}までに、農地工学研究室(成岡研究室、生物資源学部棟 3F、313 室)へ提出してください。**締め切り厳守**です。

遅れた場合、遅れた日数にあわせてレポート点を減点します。E-mail でのレポート提出も受け付けます。その場合の提出先アドレスは、**narioka@bio.mie-u.ac.jp** です。メール添付提出の希望者は、前もってフォーマット等を成岡に確認すること(原則として 1.5MB 以下の MS-Word 版ファイル、または一太郎版ファイルを添付)。ただし、この場合も締め切り時間は厳守です。

## ■ レポート書式の“法則”

- (1)他の科目「学生実験レポート、卒業研究など」のためにパソコン文書ソフトを使用する。
- (2)レポートの提出期限は翌週の授業前。
- (3) A4 版のレポート用紙あるいはプリントアウト紙を用い、左上をステップラー等で綴じる。
- (4) 1 枚目：表紙とする。実験タイトル、班名、氏名、提出日を記載する。
- (5) 2 枚目：200 字程度の要旨を記載する。他の記事は書かないこと。
- (6) 3 枚目以降：内容を以下の順に記載すること。

実験番号およびタイトル

提出日、学籍番号、所属班、氏名、実験年月日、時間、天候、共同実験者(フルネームで記入すること)

1. はじめに (目的を数行にまとめる)
2. 実験の原理と方法
3. 実験結果 (測定値のグラフ、表、計算)
4. 考察 (実験結果からわかること、推測できること。)
5. 応用、アイデア
6. 課題の答え (図書館等をよく利用してください)
7. 参考文献
8. 感想

## ■ レポート記述の具体的配置イメージ

※ 3 枚目以降 (ただし、1 枚目は表紙、2 枚目は要旨)

---

### 環境土木実験

概ね 16 ポイント

#### ー 実験番号とタイトル

概ね 14 ポイント

提出日                    ○○年○○月○○日  
学籍番号                ○○○○○○  
所属班                    ○班  
氏名                      ○○○○  
実験年月日、時間、天候、共同実験者

1. はじめに (目的 ; 数行にまとめる)
  2. 実験の原理と方法
  3. 使用器具
  4. 実験結果 (測定値のグラフ、表、計算)
  5. 考察 (実験結果からわかること、推測できること。)
  6. 応用、アイデア
  7. 課題の答え (図書館等を十分に利活用してください)
  8. 参考文献
  9. 感想
- 

## ■ レポートの体裁

1. はじめに (目的)
  - ・ レポートテーマに関する実習内容の要点や実習で学んだこと、習得したことについて、細かいことでも自分が重要と思えば簡素化して書くこと。  
(例) 「・・・を習得することを目的とする」 「・・・を理解することを目的とする」
2. 実験の原理と方法  
(測定原理)
  - ・ 教科書や配布プリントを参考にして自分の文章で書くこと。
  - ・ クラスメートのレポートや教科書の内容を丸写しにするのは厳禁です。
  - ・ 図や解説の絵を加え、コメントを付すだけでも理解が深まります。

### **(方法)**

- ・実際に自分が行なったことを箇条書きで手順を記すこと。
- ・自分が行ったはずのことをこれから行うかのように書く者、まるで他人事のように書く者、実際には行っていないことや省略したことまで書く者がいないように注意すること。

### 3. 使用器具

- ・使用器具は教科書を参照して箇条書きに記入すること。自分が必要と感じたものについては適宜加えること。  
(例) 「器具名 ×個数」

### 4. 実験結果 (測定値のグラフ、表、計算)

- ・実験で得たデータを各自が確認しておく。
- ・実験ノートに記した生のデータも表に整理して記入すること。
- ・生のデータを元にした大量の計算は、データシートに整理して表で表すこと。
- ・データの解析は、自分の好きなように創意工夫して、オリジナルの解析方法に取り組む。特に誤差の評価に関しては、様々なところで入り込む余地のある誤差を評価すること。

### **(グラフ)**

- ・図 (グラフ) は大きく書くこと。枠は不要。
- ・図にはタイトルをつけること。タイトルは図の下部につける。
- ・縦軸、横軸、凡例のタイトルを明記すること。軸・凡例などの説明がないものは、何を表した図か分からなくなるので注意する。
- ・マーカーに「・」は使用せず「×」「+」など、中心 (交点) がわかるマーカーを使用する。

### **(表)**

- ・表は大きく書くこと。枠は不要。
- ・表にはタイトルをつけること。タイトルは図の上部につける。
- ・測定値や計算結果は、有効数字に注意して、単位を明記し、単位系を統一すること。

### **(結果)**

- ・図 (グラフ) や表 (測定値) ごとに簡潔な説明を記すこと。レポートはノートではない。数字の羅列ではわからない。図や式で用いた代数や凡例の説明も忘れないように。また、測定値や計算結果には単位を明記し、単位系を統一すること。

## 5. 考察

- ・得られたデータから言えること、導き出せること、発想できることを書く。
- ・ここに感想を書かない、論議を書く

(例)

図1に〇〇の結果を示す。

△△の結果、図2のようになった。

→ここで、図中の☆☆は□□である。図より〇〇〇がわかる。次に….

## 6. 感想

### ■ 「有効数字」について

#### (1)測定値の精度 (たとえば・・・)

定規、測容器などを用いた測定では、目盛りの10分の1まで目測で読む。

#### [例1] 1000mL のメスシリンダの場合

最小目盛り 10mL の場合 1mL の位まで読む

67mL と読んだならば、実際には  $66.5 \sim 67.5 \text{mL} = 67 \pm 0.5 \text{mL}$

つまり最小桁の単位の1/2倍の誤差が含まれます。

この場合、上から2桁目までが信頼できます。 [有効数字2桁]

#### [例2] 10mL のメスシリンダの場合

最小目盛り 1/10mL の場合 0.01mL の位まで読む

6.24mL と読んだならば、実際には  $6.235 \sim 6.245 \text{mL} = 6.24 \pm 0.005 \text{mL}$

つまり、最小桁の単位の1/2倍の誤差が含まれます。

この場合、上から3桁目までが信頼できる。 [有効数字3桁]

小数点以下の桁数は有効数字には直接関係ない。

有効数字の桁数は測定方法によって異なる。

7.9366mL の水の容積を

1000mL のメスシリンダで測定すると 8mL [有効数字1桁]

10mL のメスシリンダで測定すると 7.94mL [有効数字3桁]

読みが目盛りに一致した場合

10mL のメスシリンダで 8.00mL と読んだとき誤差は 0.005mL

10mL のメスシリンダで 8mL と読んだとき誤差は 0.5mL

8.00mL と 8mL とは、数学的には同じかもしれないが、物理的には全く異なることに注意。

(2)計算値の精度 (加減算の場合)

86mL の水に 37.24mL の水を加えるとき

$86 + 37.24 = 123.24 \text{ mL}$  と表示するのは意味がない。

$$(86 \pm 0.5) + (37.24 \pm 0.005) = 123.24 \pm 0.505$$

[小数第 1 位は信頼できない!]

こういった誤差範囲を毎回計算するのは煩雑なので、簡便法を用いる。

**(簡便法)**

加減算の有効数字は最小桁が最も大きい数値の最小桁で決まる。上の計算例の場合、最小桁が 1 の位の数値と小数第 2 位の数値との加算なので有効数字は 1 の位までとなる。

123 mL

[有効数字 3 桁]

誤差を含まない数値は考慮から除く。ただし、計算途中での丸め操作で誤差が増大するのを防ぐために、有効数字+1 桁で計算を進め、最終的な答えを示すときに有効数字を合わせる。

この場合、計算途中なら 123.2mL

最終的な答えを示すなら 123mL

(3)計算値の精度 乗除算の場合

[例] 三角形の面積

底辺の長さ： 12.522m

高さ : 7.4m

という測定値が記録されていた場合。

$(12.522 \times 7.4) / 2 = 46.3314 \text{ m}^2$  と表示するのは意味がない。

$$\{(12.522 \pm 0.0005) \times (7.4 \pm 0.05)\} / 2 = 46.3314 \pm 0.3149$$

[小数第 1 位は信頼できない!]

加減算の場合同様、毎回誤差範囲を計算するのは煩雑なので、簡便法を用いる。

**(簡便法)**

乗除算の有効数字は桁数が最も少ない数値の桁数になる。この場合、5 桁と 2 桁であるから有効数字 2 桁。誤差を含まない数値は考慮から除く。この場合の除数「2」など。

ただし、計算途中での丸め操作で誤差が増大するのを防ぐため、有効数字+1 桁で計算を進め、最終的な答えを示すときに有効数字を合わせる。

この場合、計算途中なら 46.3mL

最終的な答えを示すなら 46mL

特に断らなくても、常に有効数字に留意すること。(理科系の常識)

## 再確認！！ 有効数字の桁数(有効桁数)について

抜粋（引用・参考）：「有効数字」Wikipedia

(1) 0 ではない数字に挟まれた 0 は有効

(例)

50.7           有効数字 3 桁

28006           有効数字 5 桁

(2) 0 ではない数字より前(左側)に 0 がある場合、その 0 は無効

(例)

0.082936   有効数字 5 桁

0.0007           有効数字 1 桁

0.013           有効数字 2 桁

(3) 小数点より右側にある 0 は有効

(例)

35.00           有効数字 4 桁

8 000.000000   有効数字 10 桁

### 例題演習

(1)  $135.25+27.358+274.3$            436.908           → 436.9

(2)  $35.5081+347.2-156.771$            222.9371           → 222.9

(3)  $2.5 \div 1.302 \times 0.583$            1.119432           → 1.1

(4)  $38.373 \times 25.47 \div 246.27$            3.968654           → 3.969

(5)  $5.27 \times 12.38 - 26.33$            38.9126           → 38.9

(6)  $5.743 \times 24.375 + 123.2$            263.1856           → 263.2

## ■ 要旨の参考例

Soft X-ray Digital Radiography for Soil Structure: Development and Trial  
Toyokazu HIROZUMI, Toshihito KUROSAWA and Hajime NARIOKA

Soil structure consists of a lot of soil particles, aggregates and their arrangements. Soft X-ray Digital Radiography (SXDR) was developed. SXDR is a methodology for evaluation of soil structure from a view point that a soft X-ray image of soil has information of soil structure. In the SXDR, an analog image taken by using soft X-ray radiography was converted to a digital one, and the digital image was analyzed with image processing such as statistical analysis, Semivariogram and Fourier Transform. Some results by using the SXDR were examined on information of soil structure. Some results appeared to be related to soil structure. The SXDR provided to evolution of the studies on soil structure by using soft X-ray.

(土壤物理学会誌「土壌の物理性」)

地温日変化による土壌熱定数と熱フラックスの推定法  
清澤秀樹

地温データより土壌の熱定数や熱フラックスを導く方法を提案した。すなわち、対象土層の上下境界の地温変化より土層内の温度勾配を求める式を示し、土層中央の計算値が土層平均温度勾配と最も近くなるよう熱拡散率を求めた。この土層の乾燥密度や水分量から容積比熱を求めれば、熱伝導率や熱フラックスも推定できる。この方法を永久凍土帯での測定値に適用し、理想的な日周期変動と著しく異なる場合にも、適用可能なことを示した。

(農業土木学会全国大会 (2000)鳥取)

平成 23 年度三重県台風 12 号災害調査報告

岡島賢治、伊藤良栄、加治佐隆光、安田健二、成岡 市

平成 23 年の台風 12 号は、紀伊半島の広い範囲に総降雨量 1,000mm を越える猛烈な豪雨をもたらした。本報文では、平成 23 年台風 12 号による農地災害に関して、現地調査を行ない、特筆すべき被災状況を速報の形で記述した。また、輪中堤を用いた水防災事業の先駆的な地域である相野谷川流域の浸水被害について、現地調査および記録資料をもとにその状況と課題をまとめた。これらの報告・検討内容に基づき、今後さらに詳しい調査を進めることにより、より細部に手が届く復旧・復興に繋がるものと考えらる。

(農業農村工学会誌「水土の知」)

## ■ 土壌物理分野の S I 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	$\text{kg kg}^{-1}$	*
体積含水率	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	
体積	$\text{m}^3$	L、 $\text{cm}^3$ 、mL
密度	$\text{kg m}^{-3}$ 、 $\text{Mg m}^{-3}$	
濃度	$\text{kg m}^{-3}$ 、 $\text{Mg m}^{-3}$	$\text{g L}^{-1}$ 、 $\text{mg L}^{-1}$
モル濃度	$\text{mol m}^{-3}$	$\text{mol L}^{-1}$
力	N	
水分ポテンシャル	$\text{J kg}^{-1}$	kPa、m、cm、**
透水係数	$\text{m s}^{-1}$	$\text{cm s}^{-1}$
イオン交換容量	$\text{mol}_c \text{ kg}^{-1}$ 、 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	
回転数	$\text{s}^{-1}$	$\text{min}^{-1}$
収量	$\text{kg m}^{-2}$	$\text{kg ha}^{-1}$ 、 $\text{Mg ha}^{-1}$ 、 $\text{t ha}^{-1}$

\* %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。

\*\*  $\text{cmH}_2\text{O}$ 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。

土壌物理学学会編集委員会資料より抜粋

## ■参考文献

本テキストは 1992 年度版の環境土木学実験テキストを基本とし、2002 年に資源循環の基本理念を加え、毎年改稿を重ねている。単位は SI 単位系とし、実用性に応じて cgs 単位系を併用する。主な参考文献は以下のとおり。

### (環境土木実験全般)

- ・ファイトテクノロジー研究会編: ファイテク How to みる・きく・はかる, 養賢堂(2002)
- ・土壌物理学会編: 新編土壌物理用語事典, 養賢堂(2002)
- ・宮崎毅, 西村拓: 土壌物理実験法, 東京大学出版会(2011)
- ・日本ペドロジー学会編: 土壌調査ハンドブック改訂版, 博友社(1997)
- ・石原研而: 土質力学, 丸善(1988)
- ・甲藤好郎: 工学技術者のための熱力学, 養賢堂(1994)
- ・木村勇雄: 測定精度と有効数字, <http://irws.eng.niigata-u.ac.jp/~chem/kimura/> (1999)
- ・Klute A.(ed.): Methods of soil analysis, Pt. 1, American Soc. Agronomy, 363-375 (1986)
- ・久保亮五, 長倉三郎, 井口洋夫, 江沢洋編: 理化学辞典 第4版, 岩波書店(1987)
- ・小出昭一郎: 物理学, 裳華房(1994)
- ・国立天文台編: 理科年表, 丸善(2011)
- ・荘司菊雄, 化学実験マニュアル, 技報堂出版(1996)
- ・土壌物理性測定法委員会編: 土壌物理測定法, 養賢堂(1972)
- ・農業農村工学会編: 農業農村工学ハンドブック 改訂 7 版, 農業農村工学学会 (2010)

### (レポートの書き方)

- ・三重大学共通教育センター: 大学生のためのレポート作成ハンドブック
- ・木下是雄: 理科系の作文技術, 中公新書
- ・電気通信学会編: 学術論文の書き方・発表の仕方, 電気通信学会

### (よみもの)

- ・須藤談話会編: 土を見つめる, 三共出版(1986)
- ・岩田進午: 土のはなし, 大月書店(1985)
- ・小山雄生: 土の危機, 読売科学選書(1990)
- ・岩田進午: 土は生命の源, 創森社(1995)

### **(教科書)**

- ・宮崎毅ら： 土壌物理学, 朝倉書店(2005)
- ・八幡敏雄： 土壌の物理, 東大出版会(1975)
- ・中野政詩ら訳： パソコンで学ぶ土の物理学, 鹿島出版会(1987)

### **(実験書)**

- ・ファイトテクノロジー研究会編： ファイテク How to みる・きく・はかるー植物環境計測ー, 養賢堂(200)
- ・土壌物理測定法委員会編： 土壌物理測定法, 養賢堂(1975)
- ・八幡敏雄ら： 土壌物理実験, 東大出版会(1984)
- ・土の理工学性実験ガイド編集委員会編： 土の理工学性実験ガイド, 農業土木学会(1983)
- ・中野政詩ら： 土壌物理環境測定法, 東京大学出版会(1995)

### **(絵とき)**

- ・日本土壌肥料学会編：そだててあそぼう 土の絵本(①～⑤), 農文協(2002)
- ・松尾嘉朗ら： 地球環境を土からみると, 農文協(1990)
- ・松尾嘉朗ら： 土と遊ぼう, 農文協(1992)
- ・岩田進午： 土のはたらき, 家の光協会(1991)

# 実験番号 1-1) 土壌をはかる(1)

## 1-1. はじめに

土壌は多様である。しかも、その種類は沢山ある。ほんのわずか歩いてみるだけで、全く違う土壌に出会うことも珍しくはない。生物生産活動を考える場合、基盤である土壌は常に重要な役割を担う。しかし、この多種多様な土壌を特徴づける物理的性質や化学的性質とは一体何か？ また、うまく表現するにはどうしたらよいか？ 先ず始めに、こうした土壌の物理性について知っておく必要がある。

土壌の物理性というと、「重さ、大きさ、色、硬さ」などが思い浮かぶ。しかし、同じ土壌でも水分量が違えば質量さも異なる。

土のような「粒状体」の大きさは如何に？ 本実験ではこうした土壌の大きさを示すものとして、土壌の乾燥密度(soil bulk density)と土粒子の密度(soil particle density)を測定する。土壌の乾燥密度の測定にはいくつかの方法があるが(例えば Klute, 1986)、ここでは定容積サンプリング法を用いる。また、土粒子密度の測定は、JIS 規格に定められた比重測定法(Pycnometer 法)を用いる。

## 1-2. 土壌三相

土壌は、固相(solid phase)、液相(liquid phase)、気相(vapor)からなる物質であり、図 1-1 のように模式的に表すことができる。

一般に、体積を  $V$ 、質量を  $W$  で示し、固相(土粒子)、液相(水)、気相(空気)は添え字  $s, l$  (あるいは  $w$ ),  $a$  で示す。また間隙(空隙, void)については  $v$  を添え字に用いる。

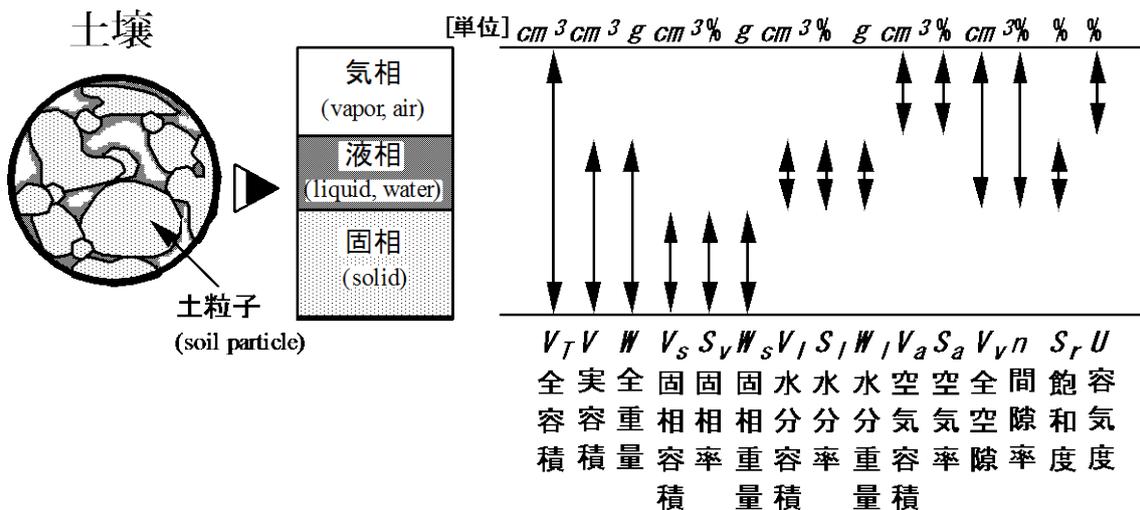


図 1-1 土壌の模式図と用語

全容積	$V_T$ 自然状態のまま採土された土壌の全容積量のこと。
実容積	$V$ 土壌の全容積中にしめる、固相と液相の容積の和。
全質量	$W$ 実容積に対応する質量。固相と液相の質量の和。
固相容積	$V_s$ 土壌の全容積中にしめる固相の容積。
固相率	$S_v$ 全容積に対する固相容積の百分率。 $V_s/V_T \times 100$
固相質量	$W_s$ 固相の質量。
水分容積	$V_l$ 土壌の全容積中にしめる液相の容積。
水分率(液相率)	$S_l$ 全容積に対する液相容積の百分率。 $V_l/V_T \times 100$
水分質量	$W_l$ 液相の質量
空気容積	$V_a$ 土壌の全容積中にしめる気相の容積。
空気率(気相率)	$S_a$ 気相容積の全容積に対する百分率。 $V_a/V_T \times 100$
全空隙(全間隙)	$V_v$ 土壌の全容積中にしめる、液相と気相の容積の和。
間隙率	$N$ 全容積に対する全空隙 $V_v$ の百分率。
飽和度	$S_r$ 全空隙に対する水分容積の百分率。 $V_l/V_v \times 100$
容気度	$U$ 全空隙に対する空気容積の百分率。 $V_a/V_v \times 100$

これらの値から、以下のような**土壌の物理量**（**[物理量]=[数値]×[単位]**）が定義される。

間隙比	$e$ 固相容積に対する全空隙の割合。 $V_v/V_s$
体積含水率	$\theta$ 全容積に対する水分容積の百分率。 $V_l/V_T \times 100$
(質量)含水比	$W$ 固相の質量に対する液相の質量。 $W_l/W_s$
湿潤密度	$\rho$ $W_l/V_T$
乾燥密度	$\rho_b$ 固相の質量を全容積で割ったもの。 $W_s/V_T$
土粒子の単位質量	$\rho_s$ $W_s/V_s$
土粒子の比重	$G_s$ 土粒子の単位質量を水の単位質量で除したもの。 $\rho_s/\rho_w$

上に定義した土壌の物理量のいくつかは互いに関係している。各自整理しておくといよい。なお、一般的な土壌の乾燥密度は  $1.2 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ 、土粒子の密度(単位体積質量)は  $2.65 \pm 0.1 \text{g/cm}^3$  程度と言われている。

### 1-3. 土壌の乾燥密度の測定

乾燥密度( $\rho_b$ )は土粒子の質量を土壌(土粒子+水+空気)の体積で割った値である。土壌の体積は、現地の土壌構造をできるだけ壊さないようにして採取したサンプラーの容積( $100 \text{cm}^3$ )とする。また、土粒子の質量は、採取した土を炉乾燥( $105^\circ\text{C}$ 、24 時間)した後の質量から求める。

#### 準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)

100 cm <sup>3</sup> サンプラー	上下蓋つきのもの	3 組
サンプラー補助器		1 個

土壌ナイフ	1本
蒸発皿(比重試験の試料採取用)	3個
ショベル	1丁
スコップ	1丁
乾燥炉(105℃で24時間測定できるもの)	実験室内共用

※JIS規格では「足をかける部分があるものをショベル、無い物をスコップ」と定義されている。

### 実験手順 (レポートには実際に行った手順を記述すること)

1. 実験室で、3組それぞれのサンプラーの質量をはかる。
2. 野外の土壌を採取する。
  - 試験区の土壌の3点を選び、表面を少しはぎ取る。
  - 礫や植物根が多くないことを確かめた上で、各地点1個ずつサンプラーを垂直に静かに押し込んで採土する。サンプラー両端付近は土壌ナイフで整形し、平らにして蓋をする。
  - (もとの土壌構造をできるだけ保存するようにし、無理に土壌を押し込めたりしないこと)
3. 別に、各地点の土壌を30~40g程度蒸発皿に採土する(比重試験用)。
4. 採土地点の略図を記録し、地表をなるべくもとの状態に復元する。
5. サンプラー表面に着いた土壌等を拭き取り、実験室でその質量をはかる。
6. 片方の蓋を開け、24時間炉乾燥する。
7. 24時間炉乾燥後、蓋をして室温にならし、再度質量をはかる(水曜日昼休み)。
8. サンプラーをよく洗って元に戻す。

### 計算と結果

1. 測定値を用いて、各地点の含水比、乾燥密度、体積含水率を求める。
2. 含水比、乾燥密度、体積含水率の平均値、分散、標準偏差を求める。
3. 後述「1-4. 土粒子の比重の測定」の結果も用いて間隙率、飽和度を求める。
4. 固相率、液相率、気相率をそれぞれ求め、図1-2のような三相分布図を作図する。

### 課題

- ① 体積含水率の計算において、炉乾燥質量の代わりに含水比2%の風乾土の質量を用いた場合の誤差はいくらか？
- ② 別の深さから採土した場合、体積含水率にはどのような傾向が現れると考えられるか？
- ③ 乾燥密度を測定する方法として、他にどのような方法があるか調べなさい。

{応用問題 体積含水率の標準偏差を1/10にするには、サンプル数をいくつにしなければならぬか？}

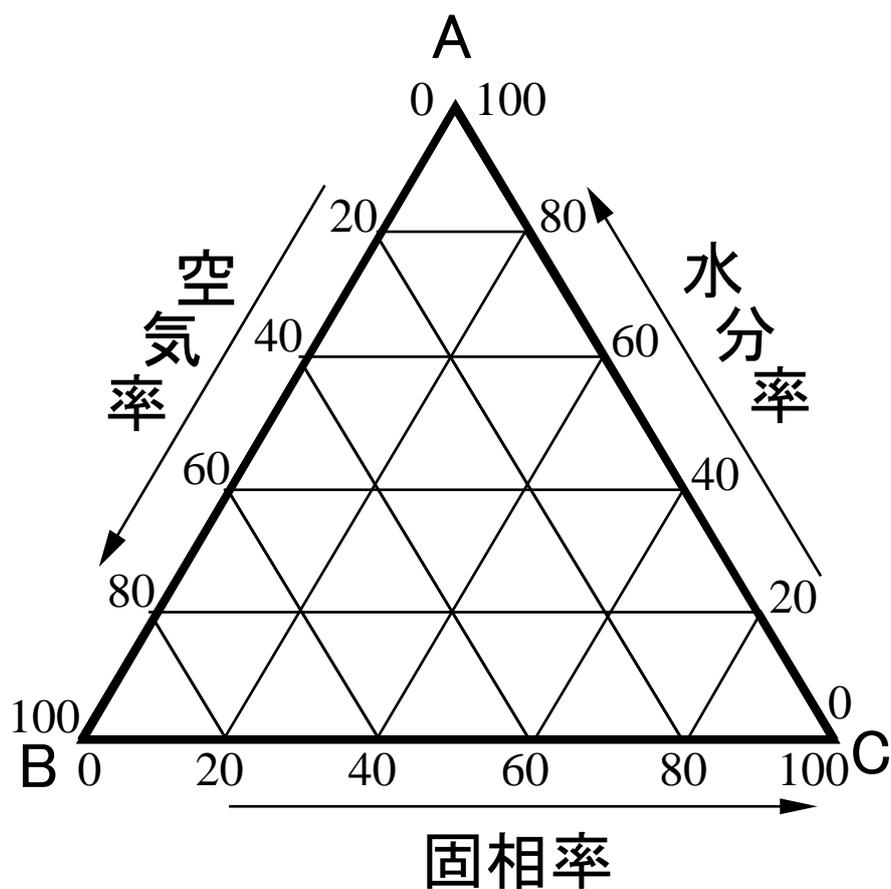


図 1-2 三角座標による相表示

レポート作成時に原図が必要な場合、以下のアドレスからダウンロードし、利用してください。

### 三角座標の作成方法(参考)

<http://www.bio.mie-u.ac.jp/junkan/busshitsu/lab5/dojyoex.html>

<http://clikington-saito.com/ExcelTriangle/Triangle.html>

#### 1-4. 土粒子の比重の測定

土粒子の比重は比重ビン (pycnometer) を用いて求める。この方法は日本工業規格 (JIS A1202) による。

#### 準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)

比重ビン	容量 100cc 以上の容積測定用フラスコ、または容量 50cc 以上のストッパー付き測定ビンでストッパー中心に小孔のあるもの (今年は後者を使用)	3 個
温度計		1 本
砂皿		1 台
ハカリ感度 0.001g のもの		実験室内共用
ガスバーナー		実験室内共用
乾燥炉		実験室内共用

#### 実験手順 (レポートには実際に行った手順を記述すること)

##### < 比重ビンの検定 >

1. 比重ビンの質量  $W_f$  をはかる。(汚れている場合は洗って乾かしてから)
2. 比重ビンに蒸留水を満たし、その全質量  $W_a'$  と水温  $T'$  をはかる。
3. 任意の温度  $T$  に対する  $W_a$  を次式より求める。

$$W_a = \frac{T \text{ における水の密度}}{T' \text{ における水の密度}} \times (W_a' - W_f) + W_f \quad \text{①}$$

##### < 測定 >

1. 試料を用意する。
  - ・自然のままでも、炉乾燥したものでよいが、容積測定用フラスコを用いるときは乾燥質量 25g 以上、ストッパー付きビンを用いるときは **10g 以上** 用意する。
  - ・粗い秤で目安をつけること。また、根と石をとりぞく こと。
  - ・自然のまま、あるいは湿潤な試料の場合、測定終了後、炉乾燥によって質量  $W_s$  を求める。
2. 比重ビンの質量  $W_f$  をはかる (検定時に測定済み)。
3. 試料を比重ビンに入れ、全質量  $W$  をはかる (湿潤土の時は不要)。
4. 蒸留水をフラスコなら 3/4、ストッパー付きビンなら 1/2 くらい入れる。
5. 比重ビンの中の気泡を取り除く。

気圧を 100mmHg 以下に下げるか、10 分以上砂皿の上で静かに煮る。時々比重ビンを振って気泡の抜けるのを助けるとよい。気圧を急に下げると、内容物が激しく沸きこぼれることがあるので注意すること。加熱した試料は室温に下がるまで放置する。  
(試料中の空気をいかに残さないかが、実験の鍵。土が粘土質であるほど気泡が残りやすいので注意すること)
6. 比重ビンに、蒸留水をストッパーの小孔の口まで一杯に満たし、外面を洗って乾いた布で水分を拭き取ってから、全質量  $W_b$  と温度  $T$  をはかる
7. (湿潤土の場合、内容物全量を蒸発皿に移し炉乾燥後、土粒子の質量  $W_s$  をは

かる:先に蒸発皿の質量をはかっておくこと)

### 計算と結果

ある温度 T における、水に対する土粒子の比重は次式から求める。

$$G_s(T/T^{\circ}\text{C}) = \frac{W - W_f}{(W - W_f) + (W_a - W_b)} = \frac{W_s}{W_s + (W_a - W_b)} \quad \text{②}$$

ここで、

$G_s$  : 温度 T の水に対する温度 T の土粒子の比重

$W$  : 炉乾した試料と比重ビンの質量(g)

$W_s$  : 炉乾した試料の質量(g)

$W_a$  : 温度 T における水を満たした比重ビンの質量(式①より)

$W_b$  : 温度 T における水と土粒子を満たした比重ビンの質量(g)

$T$  :  $W_b$ 測定時の温度

特に指定が無いときは 15°Cの水に対する値を次式より求める。

$$G_s(T/15^{\circ}\text{C}) = K \times G_s(T/T^{\circ}\text{C}) \quad \text{③}$$

K : 補正係数(表 1-1: 温度 T の水の密度を 15°Cの水の密度で割った値)

表 1-1 4~30°Cにおける水の密度(g/cm<sup>3</sup>)と補正係数 K

°C	水の密度	K	°C	水の密度	K	°C	水の密度	K
4	1.000000	1.0009	13	0.999406	1.0003	22	0.997800	0.9987
5	0.999992	09	14	278	01	23	568	84
6	968	08	15	129	1.0000	24	327	82
7	930	08	16	0.998972	0.9998	25	075	79
8	877	07	17	804	97	26	0.996814	77
9	809	07	18	625	95	27	544	74
10	728	06	19	435	93	28	264	71
11	634	05	20	234	91	29	0.995976	68
12	526	04	21	022	89	30	678	65

### 課題

- ① 土粒子の密度  $\rho_s$  の平均値、分散、および標準偏差を求めよ。この標準偏差と乾燥密度の標準偏差を比べると何がいえるか？
- ② 今回用いた土壌の、4°Cの水に対する比重はいくらか？
- ③ 比重ビンの中で土粒子と水の混合液を沸騰させるのはなぜか？
- ④ 本実験手順は、微細な粘土や有機物が多量に存在する土壌ではうまくいかない。なぜか？
- ⑤ 自然界で土粒子密度が密接に関連する現象の例を 2、3 挙げなさい。

## 実験番号 1-2) 土壌をはかる(2) 追加実験

### ■追加実験の目的

「ダイレイタンシー」に触れる

### ■材料

- ・片栗粉
- ・ベントナイト
- ・カオリナイト
- ・蒸発皿
- ・水道水

### ■要点

- (1) 三種類の実際に触れて、その感触、現象の観察および記録を行う。
- (2) ダイレイタンシー現象に関する文献調査等を行う。
- (3) 報告書をまとめて、提出する。

レポートの実験番号は「実験番号 1-2) 土壌をはかる(2)」とする。

### ■用語メモ

#### 「ダイレイタンシー (dilatancy)」

圧縮や膨張などの体積変化は、多くは等方的な応力が作用して発生するが、せん断応力が作用して体積変化が起こる場合がこのダイレイタンシー

#### 「ダイレイタンシーの発生原因」

粒状体の典型的な挙動



図 水を含んだ片栗粉  
(間隙水圧を掛けていない状態)



図 ベントナイト・ペースト

## 環境土木実験 実験番号 1) 応用問題解答例

### 応用問題

「体積含水率の標準偏差を 1/10 にするには、サンプル数をいくつにしなければならぬか。」

### 解答例[1]

標準偏差を求める行程から逆算していく。

標準偏差が 0.1 の値となるには分散が 0.01 となるということだ。

サンプル数を  $x$  とするとサンプルの平均との差の 2 乗を合計した値が  $0.01x$  となるはずである。つまり、実際にはあり得ないが、全てのサンプルの平均との差が 0.1 となれば標準偏差が 0.1 となる。

Excel で検証を行ったが、同じ数値のサンプルが 1 つずつ増加しただけでは同じ標準偏差となる。平均値に近いサンプルの数が増加することで平均値からのばらつき、つまり標準偏差が小さくなる。

したがっておよそ 1000 程度のサンプルを用意すれば標準偏差が 1/10 程度になるのではないだろうか。

### 解答例[2]

標準偏差を 1/10 にするので、 $\rho = 0.516725$  として計算する。

$N=x$  とおく。

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{k=1}^x (x_k - Ave)^2}$$

$$0.516725 = \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{k=1}^x (x_k - 10.98759)^2}$$

$$\frac{1}{x} \sum_{k=1}^x (x_k - 10.98759)^2 = (0.516725)^2$$

$$\frac{1}{x} \left\{ \frac{x(x+1)}{2} - 10.98759x \right\} = (0.516725)^2$$

$$\frac{x+1}{2} - 10.98759 = 0.267$$

$$\frac{x+1}{2} = 11.25459$$

$$x+1 = 22.5092$$

$$x=21.509$$

よってサンプル数は 22 個にしなければならない。

### 解答例[3]

標準偏差を 1/10 にするには、分散の値が 1/100 となる必要がある。

ここで分散は

$$\sigma^2 = \frac{1}{N'} \sum_{k=1}^{N'} (x_k - \bar{x})^2$$

$N'$  : データの個数(サンプル数)    $\bar{x}$  : 平均値    $\sigma^2$  : 分散値

で表すことができる。

今回の実験では、4つのサンプルで分散が 2.1228 であったので、約 2 で 4 つのサンプルが必要であることがわかる。

ここから反比例で考えていくと、分散の値が 1/100、すなわち 0.01 になるためには、800 個のサンプルが必要であるという結果になった。

### 解答例[4]

$$\text{平均値 } x_A = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$$

$$\text{分散 } \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - x_A)^2$$

$$\text{標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{1 \sum_{k=1}^N (x_k - x_A)^2}{N}}$$

ここで、 $N$  : サンプル数、 $x_A$  : 平均値、 $\sigma^2$  : 分散値、 $\sigma$  : 標準偏差  
以上の式より、

$$\frac{1}{10} = \sqrt{\frac{1 \sum_{k=1}^{N'} (x_k - x_A)^2}{N'}}$$

$$\frac{1}{100} = \frac{1}{N'} \sum_{k=1}^{N'} (x_k - x_A)^2$$

$$N' = 100 \sum_{k=1}^{N'} (x_k - x_A)^2$$

実験結果より、

$$4 = 8.373 \sum_{k=1}^{N'} (x_k - x_A)^2$$

以上より、比の計算を用いて、

$$8,373N' = 4 \times 100$$

$$N' = 47.773$$

よって標準偏差の値を $\frac{1}{10}$ にするには 48 個のサンプルが必要である。

--- end of list ---

## 実験番号 2) 土粒子の大きさ

### 2-1. はじめに

土壌を手にとって見てみると、様々な形、色、大きさの土粒子があることに気づく。

こうした土粒子の大きさと散らばり(粒度、あるいは粒径組成)は土壌の基本的性質の一つであり、土壌分類においても重要な因子の一つである。

土壌の粒度は、土壌の硬さ、圧密性などの土壌の物理性、粘度の集積や溶脱などの土壌生成過程、塩基置換容量や粘土鉱物の種類などの化学性とも密接な関係がある。

土壌のような複雑で不均一な粒状体を扱う場合、その粒子を一つ一つ定規で測り、平均をとっても意味はほとんどない。それではどうしたら粒径(粒度)を測ることができるのか？

本実験では、比重計(hydro meter)とフルイを用いて土の粒度(particle distribution)を求める。比重計法による土の粒度分析は日本工業規格(JIS A1204)によるものである。

### 2-2. 測定の原理

様々な大きさの土粒子が一様に水中に懸濁している場合、この懸濁液の密度  $\rho_i$  は

$$\rho_i = \frac{W_s}{V} + \left( \rho_w - \frac{W_s}{G_s V} \right) \quad \text{①}$$

で示される。ここで、  
 $\rho_i$  : 懸濁液の密度       $V$  : 懸濁液の容積       $\rho_w$  : 水の密度  
 $W_s$  : 土粒子の質量       $G_s$  : 土粒子の比重

いま、 $1 \text{ cm}^3$  の箱をこの懸濁液の中につけたとすると、この箱の受ける浮力は  $\rho_i$  に等しくなる。また、この浮力は、全ての土粒子が一様に分布していれば、深さには依存しない。ここで懸濁液を放置して土粒子を沈降させると、大きい粒子ほど速く落下する。つまり、**図 2-1a** の様に分布していた粒子 A, B, C は  $t$  秒後に **図 2-1b** のようになる。このとき ( $t$  秒後)、深さ  $Z$  より上には、A よりも大きな粒子は存在しない。

ここで、Stokes の法則

$$d = \sqrt{\frac{Z}{Ct}} \quad \text{②}$$

より A の粒子の直径  $d$  は  $Z$  と  $t$  から求められる。但し、 $C$  は水温によって決まる定数。

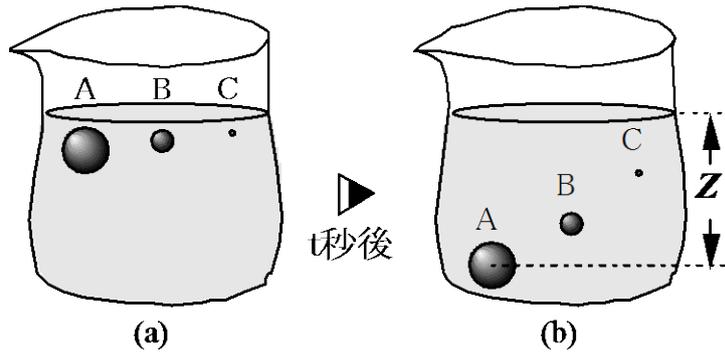


図2-1 土粒子の沈降

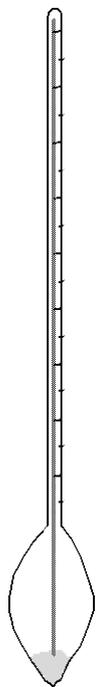
いま、 $d$ より小さな粒子の質量と土全体の質量の比を $N$ とすると、 $t$ 秒後、深さ $Z$ の懸濁液の密度 $\rho$ は、

$$\rho = \frac{NW_s}{V} + \left( \rho_w - \frac{NW_s}{G_s V} \right) \quad (3)$$

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{V}{W_s} (\rho - \rho_w) \quad (4)$$

と表せる。従って、ある深さで懸濁液の密度を測定すれば、深さと時間から粒径 $d$ が求められ、また懸濁液の比重から $d$ 以下の粒子の割合が求められる。

### 2-3. 比重計の原理



図のような比重計をある液体に浮かせ、柄の部分の目盛りを液面で読めば、その液体の比重が測定できる。

これを式で表すと

$$r = \frac{\rho}{\rho_c} \quad (5)$$

ここで、 $r$ は比重計の読み、 $\rho$ は液体の密度、 $\rho_c$ は比重計の校正温度における水の密度。ただし、JISでは $\rho_c$ を $15^\circ\text{C}$ の水の密度と規定しているので、それ以外の温度で比重計を用いる場合は補正が必要となる。

比重計を液中に浮かべると、比重計の質量 $W_H$ と浮力が釣り合い、次式が成り立つ。ここで、 $A$ は深さ $Z$ における比重計の断面積。

$$\int \rho A dz = W_H \quad (6)$$

↑ 図2-2 比重計

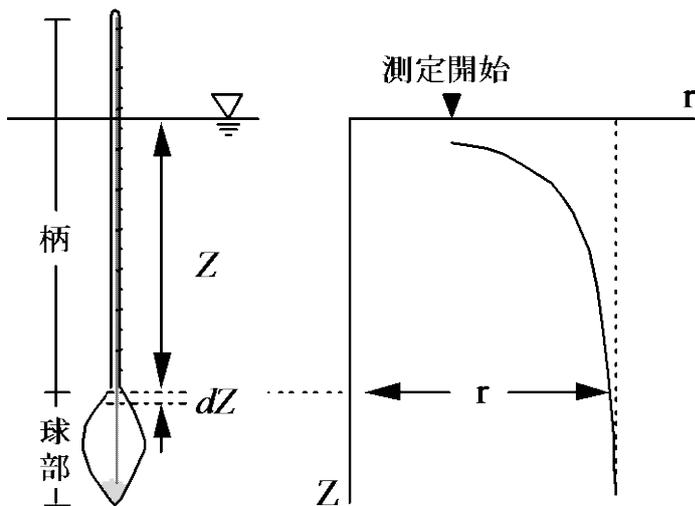


図2-3 t秒後の比重計の読みrと深さZの関係

粒子の沈降中、 $r$ は $Z$ の関数となる。図2-3は $t$ 秒後の $r$ の様子を示したもの。

このときの比重計の読みは、一種の平均値であり比重計のどこかの深さの比重に等しい。しかし比重を示す位置がわからなければ粒径は求められない。そこで、 $r$ と $Z$ 関係式が必要となるが、これは粒子の配合によって決まるので、常に同じ関数形とはならない。そこでCasagrandeは、次のように比重計のどこかの深さを求めた。 $r$ と $Z$ は直線関係であると仮定して、

$$r = C_1 + C_2 Z \quad (7)$$

比重計の示す比重が深さ $Z_r$ の比重とすると、その位置の密度 $\rho_r$ は⑤より

$$\rho_r = r \rho_c = (C_1 + C_2 Z_r) \rho_c \quad (8)$$

ここで、式⑦⑧を式⑥に代入して、

$$(C_1 + C_2 Z_r) \int A dz = \int (C_1 + C_2 Z) A dz$$

$$Z_r = \frac{\int AZ dz}{\int A dz} \quad (9)$$

これは、すなわち重心を示すものであり、どこかの深さは比重計水中部の浮心ということになる。比重計は、球部(菱形の部分)に比べ柄の部分の体積が小さい上に、球部は上下対称。そこで、 $Z_r$ は球部の中心と考えて実用上問題はない。

## 2-4. 土壌の粒度測定（粒度分析）

### 準備するもの（レポートには実際に使用したものを記述すること）

ハカリ	感度 0.01g のもの	実験室内共用
分散装置	攪拌翼を備えた攪拌装置と分散容器	1 組
比重計	0.995～1.050 の範囲に目盛りが有り、 15℃の水中で 1.000 の読みを示すもの	1 個
メスシリンダ	容量 1000cc(高さ 50cm 内径 6cm 程度)	1 個
温度計	精度 1℃のもの	1 本
ノギス		1 本
ストップウォッチ		1 個
蒸発皿		2 個
フルイ	標準網フルイ(JIS 第 408 号標準網フルイ) フルイ目:4.8, 2, 0.85, 0.40, 0.25, 0.11, 0.075(mm)	1 組
ビーカー	容量 500cc のもの	1 個
恒温水槽	懸濁液に振動を与えず定温に保てるもの	1 個

### 実験手順（レポートには実際の手順を記述すること）

#### <試料の用意>

1. 風乾した土(前回ビニール袋に入れておいたもの) 30g 程度をとり、含水比<sup>1)</sup>を測定する。
2. 試料を標準網フルイ(2 mm)でふるい、通過試料の質量を測定する。  
根などは取り除く。砂質土なら約 150 g、粘土質土なら約 90g 程度が望ましい。
3. 4.8mm および、2mm フルイに残った試料を炉乾燥し質量をはかる。

#### <比重計定数の決定>

1. 比重計の球部をメスシリンダー中の水に浸し、その体積  $V_s$  をはかる。
2. ノギス<sup>2)</sup>で、球部の長さ  $L_2$ <sup>3)</sup>とメスシリンダーの断面積をはかる。
3. ノギスで、比重計の上端から次の目盛りまでの長さをはかる。  
1.000    1.015    1.035    1.050
4. 比重計を清水に浸し、メニスカス上下端の比重計の値を読み、差を取る(メニスカス補正<sup>4)</sup>)。土の懸濁水はにごっており、比重計の値が読みにくい。そこで、メニスカス上端の比重計の値にメニスカス補正を加え、比重計の読み値とする<sup>3)</sup>。

#### <細粒土分析：比重計試験>

1. 試料の質量をはかり、以下のいずれかの方法で試料を分散させる。  
※塑性指数<sup>5)</sup>が 20 以下のとき(本実験ではこちらの方法を使用)  
試料をビーカーに入れる。  
試料が完全に浸るまで(200cc 以上)蒸留水を静かに加えながらかき混ぜる。  
18 時間以上放置した後分散容器に注ぎ、容器上端より 5cm まで蒸留水を加える。  
試料の綿毛化を防ぐためケイ酸ナトリウム結晶( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )溶液を 20cc 加える  
こうしてできた溶液の比重は 15 ℃において 1.023 とする。  
(なお、ケイ酸ナトリウム結晶が得られない場合は 1 規定の苛性ソーダ 10cc とする)

容器の内容物を攪拌装置で約 1 分間かきまぜる。

※塑性指数<sup>4)</sup>が 20 以上のとき

試料をビーカーに入れる。

試料が完全に浸るまで 100cc の 6% 過酸化水溶液を静かに加えながらかき混ぜる。

時計皿でビーカーの蓋をし、110°C の炉に入れる。

1 時間後炉から取りだし、100cc の蒸留水を加え 18 時間以上放置する

これを分散容器に移し、前述の方法同様に分散させる。

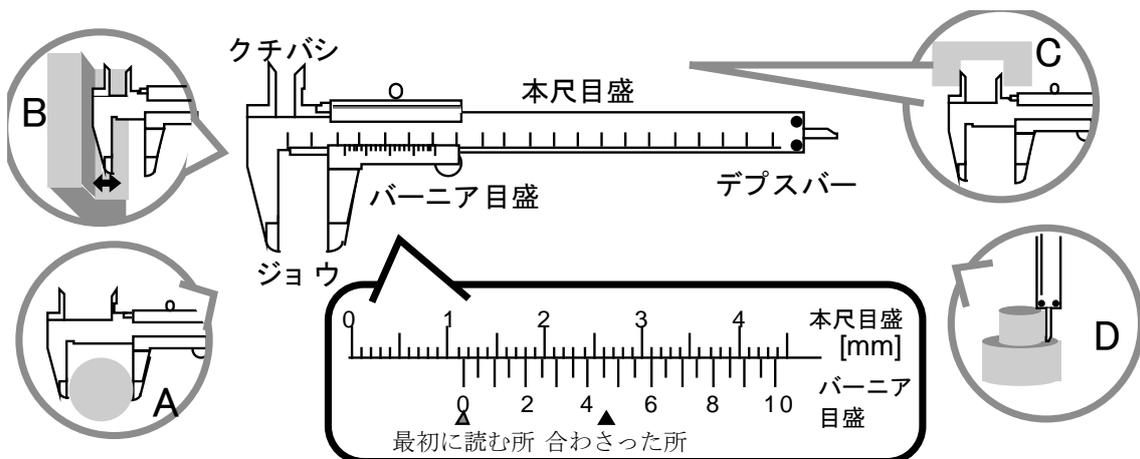
2. 分散後、分散容器の内容物をメスシリンダに移し、恒温水槽と同じ温度の蒸留水を全体が 1000cc になるまで加える。
3. メスシリンダを恒温水槽に入れ、懸濁液と水槽の温度が等しくなるまで待つ。この間、ガラス棒で懸濁液をかきまわし、浮遊している粒子の沈降を妨げること。
4. メスシリンダを水槽からとりだし、メスシリンダの口をゴム栓でしっかり密閉し、約 1 分間十分に震盪する。

<<注意！！震盪終了後、すぐに計測を始めること>>

5. 震盪終了時刻を記録し、シリンダを水槽中におく。
6. 震盪終了後、1<sup>6)</sup>、2<sup>6)</sup>、5、30、60、240<sup>7)</sup>、1440<sup>7)</sup>分後の比重計の値を読む。  
このとき、比重計はメニスカス上端で 0.005 まで読み、メニスカス補正をおこなうこと。また、同時に恒温水槽にいた温度計の読みもとる。  
比重計試験中は、水槽やメスシリンダを揺らさないこと。また、比重計の肩に粒子が積もり、比重計の読みにエラーが出ることがあります。肩に積もった粒子を払い落とすように心がけてください(ただし、不用意に振らないこと)。

◇◇◇ ◇◇◇ ◇◇◇

7. 1440 分後の比重計の値を読み終わった後、メスシリンダの内容物を 0.075 フレイの上で水洗いする。
8. フレイに残った試料を蒸発皿に集め、炉乾燥する。  
◇◇◇ ◇◇◇ ◇◇◇
9. 乾燥した試料を 1 組のフレイ(0.85, 0.40, 0.24, 0.11, 0.075)を用いてふるい分け



し、各フレイに残った試料の質量をはかる。

図 2-4 ノギスの各部名称とバーニアの読み方

注意:

- 1) 含水比は「(1)土壌をはかる」の手順を参考に、蒸発皿を使って測定する。
- 2) ノギスは 1/20mm の精度(あるいは 1/100)で物の幅や長さを測る精密測定器。図 2-4 のように A:外側測定、B:段差測定、C:内側測定 D:深さ測定と様々な長さが測定できる。

ノギスの目盛は、まずバーニア目盛の 0 の所の本尺目盛を読む。図の場合、11 と 12mm の間であるから、11mm。次にバーニア目盛と本尺目盛が合致した所の目盛を読む。バーニア目盛は 1 目盛りが 0.05mm であるから、図では 0.45mm。

これらを合わせたものが測定値であり、図の場合、11.45mm となる。

ノギスは壊れやすく精密な測定器。落としたり、ぶつけたり、ハンマーやキリなどの工具の代わりに用いないよう大切に扱うこと。なお、ノギスのクチバシやジョウを、測定物に直角にあてるのがコツ。

- 3) 球部の長さ  $L_2$  は、 $V_s$  測定時にメスシリンダに浸した長さと等しいこと。
- 4) 液体が別の物質と接するとき、液面は図 2-5 のように屈曲する。これをメニスカスという。目盛は、本来メニスカス下端の液面で読むこと。しかし、泥水のような懸濁液では下端の目盛を読み取るのは容易ではない。

そこで、先に清水中でメニスカス上端と下端の値の差を読んでおく。ここで、この差が 0.0006 であり、懸濁水のメニスカス上端の値が 0.0152 とすると、求める目盛りの値(下端の値)は  $0.0152 + 0.0006 = 0.0158$  となる。

- 5) 塑性指数は土が塑性を保ちうる含水比の範囲を示すパラメータ(図 2-6)。

土はその含水比に応じて、どろどろの液体、ねばねばして成型できる状態、少し乾きぼろぼろし成型が困難な状態、完全な固体・粉体と様相を変える。それぞれの状態を液体、塑性体(可塑性体)、半固体、固体・粉体とよび、その境界の含水比を液性限界(liquid limit, LL)、塑性限界(plasticity limit, PL)、収縮限界(shrinkage limit)とよぶ。

これらの含水比は総称してアッターベルグ限界(Atterberg limit, consistency limit)とよばれ、LL と PL の差は塑性指数(plasticity index, PI)とよばれる。PI の大きな土壌は、雨などによる少々の含水比変化では、崩壊する恐れのない安定した土壌と言える。

- 6) 水槽にメスシリンダを戻すのが間に合わないようであれば、メスシリンダを水槽に戻すのは 1 分後、あるいは 2 分後の測定終了後でよい。
- 7) 240 分後、1440 分後の測定については、担当教員に相談すること。

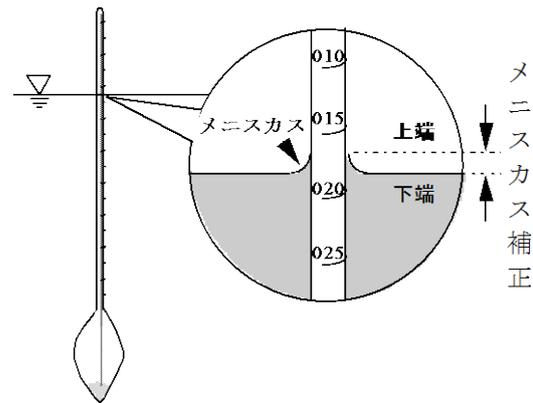


図 2-5 メニスカス補正

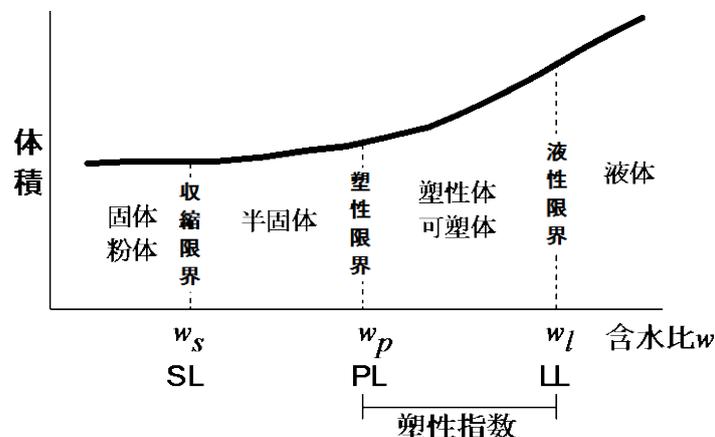


図 2-6 アッターベルグ限界の定義

## 計算と結果

- 2mm フルイを通過した試料の炉乾質量を⑩式より求め、2mm 以上のフルイに残った試料の炉乾質量と加算して、全試料の炉乾質量とする。

$$\text{炉乾質量} = \text{風乾質量} \times 100 / (100 + \text{風乾試料の含水比}(\%)) \quad \text{⑩}$$

- 4.8 及び 2mm フルイに残った試料の全炉乾燥質量に対する百分率を求める。
- 比重計の有効深さ  $L$  を⑪式より求める。

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \left( L_2 - \frac{V_B}{A} \right) \quad \text{⑪}$$

ここで、

$L_1$ : 比重計球部上端より目盛を読んだ点までの距離

$L_2$ : 比重計球部の全長

$V_B$ : 比重計球部の容積

$A$ : メスシリンダーの断面積

比重計の各読み取り値に、 $L$  の正しい値を求めること。

「実験手順<比重計常数の決定>3.」で測定した値をもとに図 2-7(B) のような表を作り、表から  $L$  を求めると容易である。

- 懸濁している粒子の最大直径を Stokes 則(式⑫)より求める。

$$d = \sqrt{\frac{30 \eta L}{980 (G_s - G_w) t \gamma_w}} \quad \text{⑫}$$

ここで、

$d$ : 最大粒径(mm)     $\eta$ : 水の粘性係数(poise)     $t$ : 沈降時間(分)

$L$ : 土粒子が  $t$  分内に沈降する距離(cm)・・・すなわち有効深さ

$G_s$ : 土粒子の比重     $G_w$ : 水の比重     $\gamma_w$ : 水の密度

- 深さ  $L$  において  $1\text{cm}^3$  中に懸濁している土の百分率を式⑬から求める。

$$P = \frac{100}{W_s/V} \frac{G_s}{G_s - G_w} (r' + F) \quad \text{⑬}$$

ここで、 $P$ : 懸濁して浮遊している土の試料の百分率

$W_s$ : 炉乾試料の質量(g)     $G_s$ : 土粒子の比重     $G_w$ : 水の比重

$V$ : 懸濁液の容積     $r'$ : 比重計の読みの少数部(メニスカス補正した値)

$F$ : 補正係数(表 2-1)

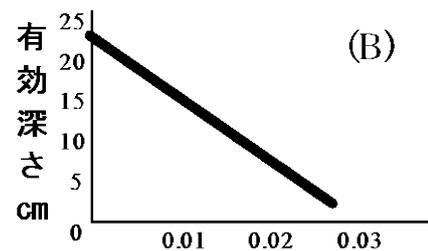
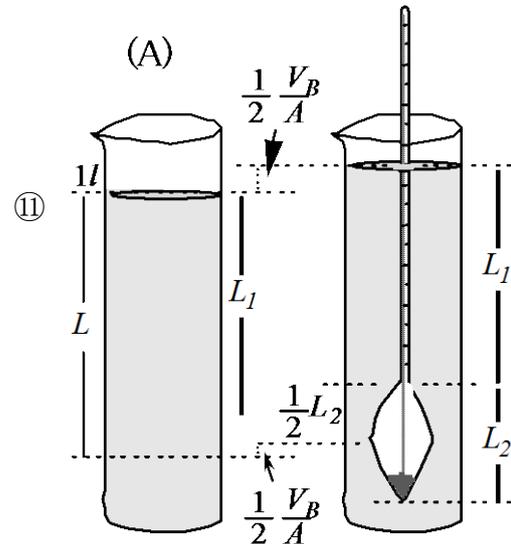


図 2-7 比重計の有効深さ  $L$

表 2-1 種々の温度における補正係数 F

°C	補正係数								
4	-0.0006	9	-0.0005	14	-0.0001	19	+0.0006	24	+0.0016
5	06	10	05	15	0.0000	20	08	25	18
6	06	11	04	16	+0.0001	21	10	26	20
7	06	12	03	17	03	22	12	27	23
8	06	13	02	18	04	23	14	28	25

(注)但し、比重計のガラスの体積膨張係数を 0.000025 とした場合

表 2-2 15°Cにおける  $G_s/(G_s-G_w)$  の値

$G_s$	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
$G_s/(G_s-G_w)$	1.689	1.666	1.644	1.624	1.605	1.587	1.571	1.555	1.540

6. 比重計試験後のフルイ分けにおいて、各フルイに残った試料の百分率を式⑭より求める。

$$P_x = \frac{W_x}{W_s} (100 - P_{2.0}) \quad \text{⑭}$$

ここで、

$P_x$ : あるフルイに残った分散土試料の全試料に対する百分率

$W_x$ : あるフルイに残った分散土試料の質量

$W_s$ : 全分散土試料の炉乾燥質量

$P_{2.0}$ : 2mm 以上のフルイに残留する土の百分率

7. 粒径に対する累積百分率を片対数グラフ用紙に記入し、図 2-8 の例にならって土の粒径加積曲線を作図する。
8. 粒径加積曲線から次の割合を求める(国際土壌学会法による土の区分)
- 2.0mm 以上の土粒子(礫)の割合
  - 2.0~0.2mm の土粒子(粗砂)の割合
  - 0.2~0.02mm の土粒子(細砂)の割合
  - 0.02~0.002mm の土粒子(シルト)の割合
  - 0.002mm 以下の土粒子(粘土)の割合

### ヒント:

- 1) 粒度分析は、細粒土(粘土)分析と粗粒土(砂)分析の2つの分析試験からなる。前者は比重計法。後者は比重計法後、粘土分を洗い流し、ふるい分けで行う。
- 2) 細粒土分析では粒径を式⑫から、百分率を式⑬から求める。

### 課題

1. 国際土壌学会の基準によると、実験で使用した試料は組成上どのように呼ばれるか？ 図 2-9 にならって答えなさい。
2. ストークス則で求められる粒径とは、一体何のことか？ また、ストークス則が成立するための前提条件は何か？
3. 土試料の各成分の和は 100% になったか？ ならなかった場合、その原因は何か？
4. この方法で 0.001mm 以下の試料の割合を調べるとする。実験ではどれだけ待たなければならないか？ 計算しなさい。

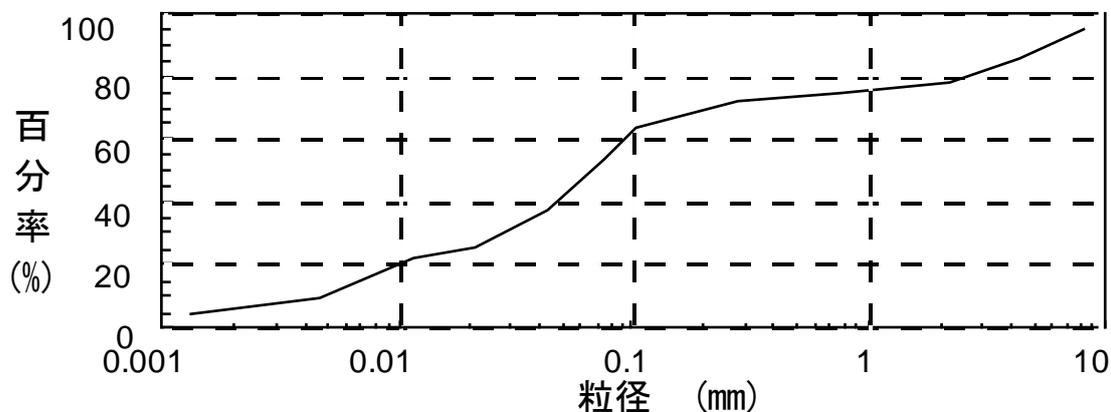


図 2-8 土の粒径加積曲線の例

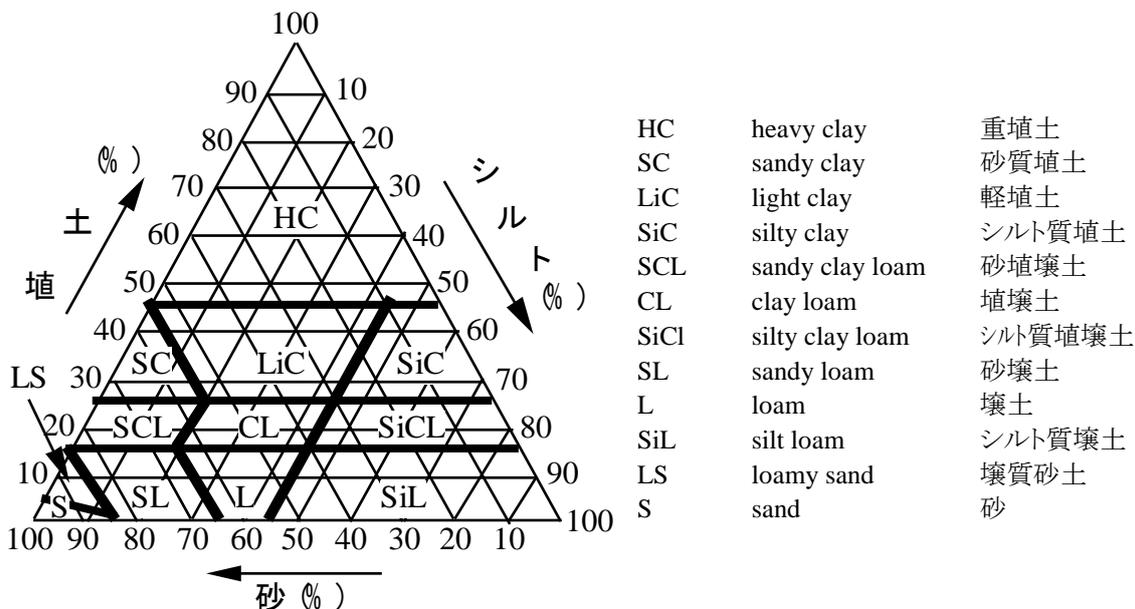


図 2-9 国際土壌科学会による土壌分類

## 2-5. 粒子の沈降実験（補足実験）

比重計法（粒度分析）の待ち時間など、余力があればやってみよう。

### 準備するもの

メスシリンダー	1000ml のもの	1 個
ストップウォッチ		1 個
ピンセット		1 個
釣り糸	太さ(d)2 種類、長さ(L)5 種類以上 例えば L = 1, 2, 3, 4, 5, 10 mm	1 組

### 実験手順

1. メスシリンダーに水を適量入れる。
2. 釣り糸をピンセットでつまみ水中へ落とす。
3. 一定の距離を落下するのに要する時間を測定する。

### 計算と結果

1. 各試料について、落下速度(v)を計算する。
2. v-d、v-L のグラフを作る。

### 課題

- ① ストークス則を用い、各釣り糸の等価粒径を求める。
- ② 粒子の大きさの他に実際の土粒子の沈降や浮遊を支配しているものについて考えなさい。

## 実験番号 3) 土壌中の水の流れ

### 3-1. はじめに

水は雨(雪)として大地に降り、地表・地中を通して河川や湖沼、やがては海へと流れ出ていく。海へたどり着いた水は、太陽エネルギーを受けて大気中に戻り、再び降雨となって大地へもたらされる(図3-1)。

このように水は地球上を循環しており、その過程で自然界の生物を育んでいる。人間もまた、この水循環なしには生きていけない。時には井戸やダムを作り、エネルギーを取りだし、食料生産に利用し、生活している。こうした水環境や水利用を考えると、大地(土壌中)の水がどのような形態で、どのように移動し、そしてどのような役割を果たしているか、を知ることが重要となる。

土壌中の水の流れ(土壌中の水分移動)は大きく2つに分類される。すなわち、地下水のように土壌間隙中に空気がほとんど含まれずに流れる飽和流と、間隙に気相も含まれた状態での水の流れ、不飽和流。

飽和流の研究は、フランスの水道技術者 Darcy による上水道のろ過の研究(1856)から始まり、地下水学、土質力学、石油工学などの分野で発達してきた。

不飽和流の研究は、飽和流の研究に比べると比較的新しく、畑地農業における水の合理的利用を目的に専ら土壌物理学の分野で行われてきた。しかし、最近では、土壌中の農薬や化学物質の挙動を理解するために、環境問題や資源循環の分野で研究が進んでいる分野。

そこで本実験では、変水位透水試験を行い土の透水性を調べる。

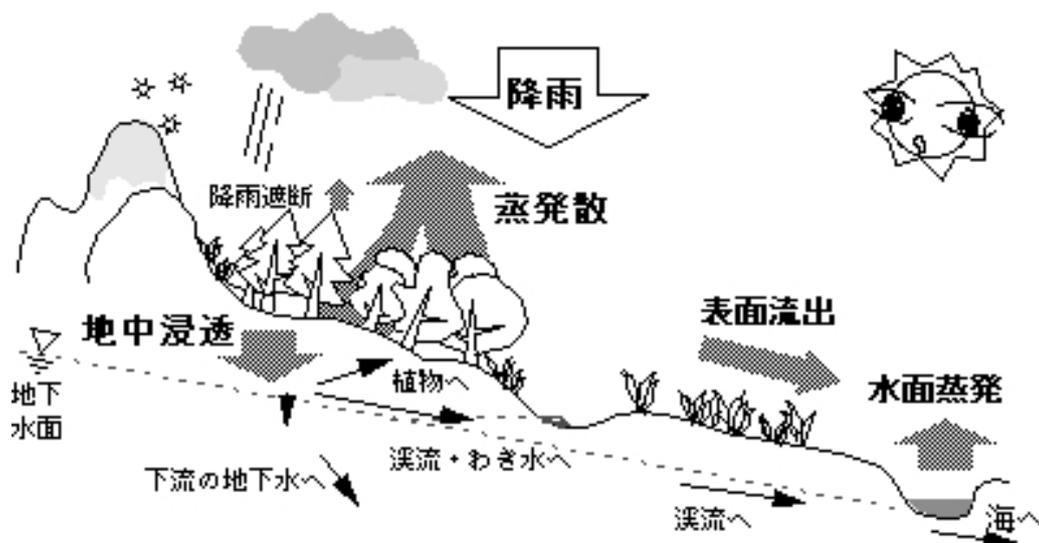


図3-1 土壌中の水の循環

### 3-2. ダルシー則と飽和透水係数

土壌の間隙を流れる水の流量は Darcy の法則に従い、次式に示される。

$$q = k \frac{\Delta H}{\Delta x}$$

$$Q = k \frac{h}{L} A t = k i A t \quad (1)$$

$q$ : 水分フラックス(cm/s)  
 $\Delta H$ : 水頭差(cmH<sub>2</sub>O)  
 $\Delta x$ : 流れに沿った方向の距離(cm)  
 $Q$ : 流量(cm<sup>3</sup>)  
 $h$ : 水位差(cm)     $L$ : 試料の長さ(cm)  
 $t$ : 時間(sec)     $A$ : 断面積(cm<sup>2</sup>)  
 $i$ : 動水勾配(=  $h/L$ )

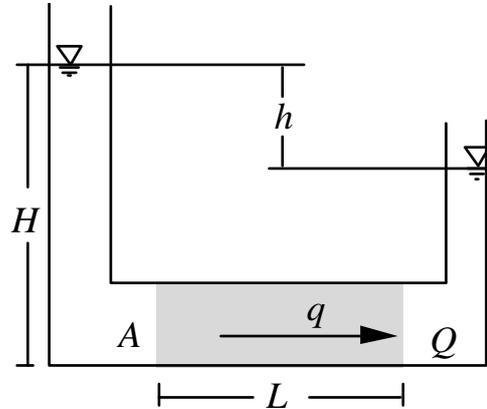


図3-2 Darcy 則

比例定数  $k$  を飽和透水係数(permeability coefficient)といい、土が水を通す性質を数量的に表したものである。

Darcy 則は経験則であるが、一定の条件下では問題なく適用できると広く認識されている。なおフラックスが圧力勾配に比例するという形式は、分子拡散など他の物理現象にも多く見られる形式である。

$k$  の測定には、水位差を一定にして水を透過させる定水位試験と、水の透過に従って水位差が変化する変水位試験がある。主として、前者は  $k$  の大きい土( $10^{-3}$ cm/s 以上)について、後者は  $k$  の小さい土について適用される。

### 3-3 変水位透水試験の原理

図3-3 において  $dt$  時間に  $dh$  だけ水位が減少したとすると次式が導かれる。ここで  $a$ ,  $A$  はそれぞれの断面積。

$$a \, dh = A \, k \frac{h}{L} \, dt \quad (2)$$

時刻  $t = t_1$  において水位  $h = h_1$

時刻  $t = t_2$  において水位  $h = h_2$  とすれば

$$\int_{h_1}^{h_2} -a \frac{dh}{h} = \int_{t_1}^{t_2} A \, k \frac{1}{L} \, dt$$

$$k = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} = \frac{2.30aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

となる。

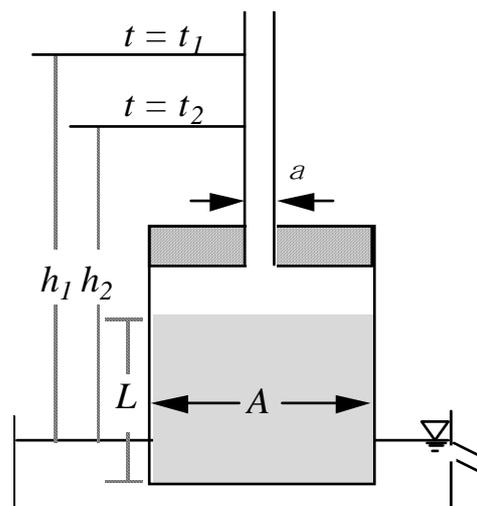


図3-3 変水位透水試験

### 3-4. 土壌の飽和透水係数の測定

#### 準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)

試料円筒	内径 5cm 程度のもの	3 個
スタンドパイプ	試料円筒にはめ込むゴム栓つき	3 個
受け皿、網フタ		3 個
洗浄ビン	スタンドパイプに水を注入できるもの	1 個
ストップウォッチ		1 個
温度計		1 本
ノギス <sup>1)</sup>		1 個
物差し		1 個
蒸発皿	3-5用	5 皿
バット	3-5用	2 枚
スプーン	3-5用	1 本
雑巾(または、キムワイプ)		
スコップ		1 個
突き固め用具	必要に応じて	
採土用具	バット、移植ごて、土壌ナイフなど	1 式

#### 実験手順 (レポートには実際の手順を記述すること)

1. 試料容器の一つに不攪乱土を採土する<sup>2)</sup>。同時に、土を少し持ち帰る。
2. 試料円筒の内径、長さ、およびスタンドパイプの内径をはかる。
3. スタンドパイプの適当な 2 点 ( $h_1$ 、 $h_2$ ) に印をつけ、 $h_1$ 、 $h_2$ をはかる<sup>3)</sup>。
4. 別の容器に持ち帰った土を徐々に一杯まで詰める<sup>4)</sup>。  
3つめの試料容器に砂を一杯まで詰める。
5. それぞれ試料の長さをはかる。
6. それぞれ試料の入った円筒に網フタをし、水を入れた受け皿の中に静かに浸ける(毛管飽和)。試料が水で飽和したら<sup>5)</sup>、円筒に溢れるまで水を注入する。
7. スタンドパイプについたゴム栓を試料円筒に差し込む。  
このとき気泡が入らないように注意すること。
8. 流出水位を一定に保ち、スタンドパイプ内の水位があらかじめ決めておいた高さ( $h_1$ )を通過してから( $h_2$ )に達するまでの時間をはかる<sup>6)</sup>。
9. 受け皿内の水に温度計を浸け、水温をはかる。
10. 同じ測定を数回くりかえす。
11. 水位低下が緩やかなときは、スタンドパイプに物差しを当て、時間的な水位低下の推移を記録する(一度だけでよい)。

## 計算と結果

1. 式③により、それぞれの試料の  $k$  を算出する。
2. 水温によって水の粘性係数が違うので式④により 20℃の水温における  $k$  に換算する。

$$k_{20} = k_T \mu_T / \mu_{20^\circ\text{C}} \quad \text{④}$$

ただし、 $k_{20}$ 、 $\mu_{20^\circ\text{C}}$ 、 $k_T$ 、 $\mu_T$  はそれぞれ、20℃における透水係数と水の粘性係数、T℃における透水係数と水の粘性係数である(表 3-1)。

3. 上記測定 11 の記録が取れた場合、log h-t グラフを書き、傾きから  $k$  を求める。

## 注意：

- 1) ノギスの使用法は「(2) 土粒子の大きさ」を参照。
- 2) 不攪乱土の採土法は「(1) 土壌をはかる」に準ずる。
- 3) 図3-3参照。
- 4) 土の詰め方が緩いと、反復測定中に間隙比が変化する。このとき  $k$  の値は変動する。そこで土を詰めるときには、適量の土を加えては突き固める作業を繰り返して詰めるようにする。
- 5) 飽和するまでに時間がかかるので、あらかじめ土を水に浸けておくとよい。
- 6) 測定の時、接合部の水漏れには十分注意すること。

## 課題

- ① もし水田がこの実験で使用した土の状態だったとしたら、10a あたりに必要な水量は、一日に一体どのくらいになるか？ 蒸発散量やあぜ浸透量などを適当に仮定して、下方浸透量から推定してみなさい。
- ② 代かきによって水田土壌表面に体積する土粒子の粒径はどうなるか？ それが下方浸透量にどう影響すると思うか？
- ③ せっかく水田を作っても、代かきによって浸透量が大きくなるような水田だったら、何らかの対策が必要である。あなたならどのような土地改良を計画しますか？

表 3-1 水の粘性係数 (×0.001 poise)

℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.78	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.60	9.38	9.16	8.94	8.74	8.55	8.36	8.18

表 3-2 土の透水性の一覧

透 水 係 数	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
排 水 性	排水良好						排水不良	実用上不透水				
土 の 種 類	砂利 (細粒土を含まない)		砂、砂と砂利の混合物 (細粒土を含まない)		微粒砂,有機質シルト,無機質シルト,シルト,砂粘土の混合物,氷河堆積物,成層粘土など			不透水の土 すなわち風化帯以下の様な粘土				
透 水 試 験 の 直 接 的 決 定 法	現場試験(揚水試験) (適当に行えば信頼性も大きい が相当の経験を要する)											
	定水位透水試験 (わずかの経験でよい)											
							変水位透水試験 (信頼性が大きく わずかの経験で可) (信頼性がなく 非常な経験を要す) (信頼性は十分であるが 相当な経験を要する。)					
透 水 係 数 の 間 接 的 決 定 法	粒土分布より計算 (細粒土を含まない砂、 および砂利にのみ可能)						圧密試験より計算 (信頼性は大きい が経験を要する。)					



## 実験番号 4) 土壌中の熱の流れ

### 4-1. はじめに

土壌は太陽や地殻からの熱に暖められ、寒気によって熱を奪われ、冷却ときに凍結する。こうした熱の出入りや釣合いによって、地中の温度が決まる。地中の温度は、根の成育や土壌微生物の活動に直接影響を与えるだけでなく、土壌水の動きを誘起する。土壌環境の形成には、土粒子の性質、水や物質の流れとともに、地中の温度や熱の流れが重要な役割を担っている。

地中温度の分布や変化を調べ、地中の熱の流れ、貯熱、放熱などの関係を考えるには、その土壌の比熱や熱伝導率、熱容量など熱的性質を知る必要がある。しかし、土壌のように三相の混在した粉体の熱伝導は複雑である。またその測定も、熱とともに水が移動するため困難を極める。

そこで本実験では、熱電対により土壌の温度を測定し、その解析から熱伝導率を求める。

### 4-2. 熱電対の原理

温度を測る簡単な道具の一つに熱電対(thermocouple)がある。熱電対は $-200^{\circ}\text{C}$ 以下 $\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 程度までの広い測定範囲をもち、比較的安価であること、遠隔測定ができること、測温部が小さいことなどの特徴がある。

熱電対は、その名の通り1対の金属線からなる。ある金属に温度差を与えると、金属内の自由電子が熱によって移動し低温側の密度が大きくなる(図 4-1)。このため、この金属の低温側は負に、高温側は正に帯電する。こうした自由電子の密度の変化は金属の種類によって異なる。そこで、2種類の金属線を図 4-2 のようにつなぎ、接点 A, B に異なる温度を与えると、接点間に起電力(熱起電力)E が発生する。こうした現象は発見者 T. Seebeck (1821)にちなみ、ゼーベック効果と呼ばれている。

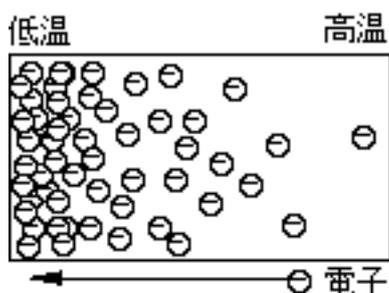


図 4-1 ある金属内の温度勾配下の電子密度

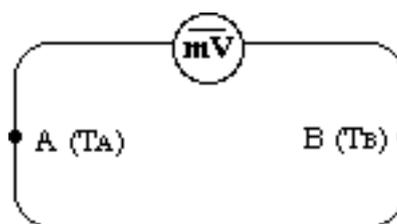


図 4-2 起電力の発生

熱起電力の大きさは、金属がそれぞれ均質であれば金属線の組合わせと接点間の温度差だけによって決まり、金属線の長さや太さ、接点以外の部分の温度などには無関係である。そこで、一方の接点を基準温度(0℃)に保ち熱起電力を求めれば、もう一方の接点の温度が測定できることになる。

### 4-3. 熱伝導の理論

土壌など個体内の熱移動は、フーリエの法則によって次式に表される。

$$q = -k \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad \text{①}$$

ここで、 $q$  は単位面積、単位時間あたりの熱の移動量(熱フラックス)、 $\theta$  は温度、 $x$  は距離、 $k$  は熱伝導率。式①を連続の式②に代入すると式③の熱伝導方程式が得られる。

$$c \frac{\partial \theta}{\partial t} dx = - \frac{\partial q}{\partial x} dx \quad \text{②}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \text{③}$$

ここで、 $t$  は時間、 $c$  は容積比熱、 $\kappa = k/c$  は熱拡散係数(温度電導率)。

いま、 $x = 0$  とすると、

$$\theta = \bar{\theta} + \theta_0 \sin(\omega t + \phi) \quad \text{④}$$

なる一定周期の温度変化が長時間続いた場合、深さ  $x$  における  $\theta$  の変化は

$$\theta(x, t) = \bar{\theta} + \theta_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}\right) \sin\left(\omega t - x \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} + \phi\right) \quad \text{⑤}$$

となる。ここで、 $\omega = 2\pi/T$  ( $T$ :周期)。

### 4-4. 熱電対の検定

**準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)**

熱電対	銅-コンスタンタン線	2組
電圧計		1台
バナナクリップつき銅線		2組
温度計		2本
魔法瓶		2本

### 検定手順 (レポートには実際に行った手順を記述すること)

1. 電圧計(デジタルボルトメータ)の0補正をする。(本年度は補正済み)
2. 熱電対を用意し、バナナクリップつき銅線を接続する。
3. 一方の魔法瓶に氷水(0℃の水:定温部とする)を、もう一方の魔法瓶に湯(5～40℃程度)をいれ、それぞれに熱電対の接点(片方の先端結線部)と温度計を差し込む。
4. それぞれの魔法瓶の中の温度を読み、同時に電圧計の値(電位差)を読む。
5. 湯の温度を幾度かかえて、熱電対の接点間の温度差と電位差の関係を求める。
6. この温度差と電位差の関係をグラフにし、最小二乗法を用いて直線の関係式を求める。

### 4-5. 土壌の熱伝導率の測定

#### 準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)

熱電対セット	先に検定した熱電対、電圧計、魔法瓶等	1 式
ポット	土壌試料を入れる容器	1 組
ガラス板		1 枚
赤外線投光器		1 個
電圧調節器と		1 台
扇風機		1 台
ストップウォッチ		1 個

#### 実験手順 (レポートには実際に行った手順を記述すること)

1. ポットの直径と深さを求め、容積を計算する。
2. ポットと熱電対 2 組を合わせた質量をはかる。
3. ポットの下の方から熱電対 2 組の接点を入れておく。  
実験室にある配線図を参照。
4. 一様に湿らせた砂を上まで一杯に詰めて、質量をはかる。  
試料は数回にわけて入れ、そのつど締め固めるように詰めるとよい。
5. 砂の表面からおおよそ 0.5cm と 1.5cm のところに熱電対の接点を設置する。
6. ポットの上にガラス板を載せる。  
ガラス板と砂の間に隙間のないようにすること。
7. ガラス板の表面に扇風機で微風をおくる。
8. ポットの真上約 20cm のところに赤外線ランプをつるし、電圧調節器で電圧を 70V に調節する。
9. ランプを 12 分間つけ 12 分間消すサイクルを 3 回繰り返し、地温を上げ下げする。  
この間の地温を埋設した熱電対で 2 分間隔で測定する。  
熱電対による温度測定は、基本的に検定方法と同様である。  
基準温度(0 度あるいは室温の魔法瓶)にいれた接点と地中の接点の電位差をはかり、「検定手順9」で求めた関係式より温度に換算する。
10. 測定終了後、熱電対の深さを正確に測定する。
11. 熱電対周辺の土壌を採り、含水比  $w$  を測定する。  
含水比  $w$  の測定は「(1) 土壌をはかる」を参考に蒸発皿で測定すること。

$$w = \frac{W_a - W_b}{W_b - W_c}$$

土壌の炉乾燥は通常 105°C で 24 時間行う。  
 $W_a$ : 炉乾前の試料と容器の質量。 $W_c$ : 容器の質量。  
 $W_b$ : 炉乾後の試料と容器の質量。

## 計算と結果

1. 各深さの温度の時間変化をグラフに示す。
2. グラフより適当な区間(12 点, 24 分間)を選ぶ。  
この間、実測点は 13 点含まれる。
3. 選んだ区間の 1 番目と 13 番目の点を直線で結ぶ。
4. 「3.」で引いた直線とグラフとの差を求め、次の表を作成する。

時間 t (min)	0	2	4	6	...	22	24
温度差(0.5cm 深) $\theta_U$	$Y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	...	$Y_{11}$	$Y_{12}$
温度差(1.5cm 深) $\theta_L$	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	...	$Z_{11}$	$Z_{12}$

5.  $\theta_U-t$ ,  $\theta_L-t$  の関係をグラフに示す。(周期  $T = 24$  (min))
6. 調和解析<sup>1)</sup>により各深さ U, L の  $\phi_{U1}$ ,  $\phi_{U1}$ ,  $\phi_{L1}$ ,  $\phi_{L1}$  を求める。
7. 次式より熱拡散係数  $\kappa$  ( $m^2/s$ ) を求める。

$$\kappa = \frac{\pi}{T} \left( \frac{x_U - x_L}{\ln \phi_{L1} - \ln \phi_{U1}} \right)^2 \quad \text{: 振幅比} \quad \text{⑥}$$

$$\kappa = \frac{\pi}{T} \left( \frac{x_U - x_L}{\phi_{L1} - \phi_{U1}} \right)^2 \quad \text{: 位相差} \quad \text{⑦}$$

8. 土の乾燥密度  $\rho_b$  ( $kg/m^3$ ) を求める。  
「1. 土壌をはかる」を参照
9. 体積比熱(容積比熱)  $C$  を次式より求める。

$$C = \rho_b \times (c_s + c_w \times w) \quad \text{⑧}$$

ただし、 $c_s$ ,  $c_w$  はそれぞれ土粒子と水の質量比熱  $\approx 0.84$ ,  $\approx 4.2$  (kJ/kg K)。

10. 熱伝導率  $k$  を求める。

$$k = C \times \kappa \quad (W/m K) \quad \text{⑨}$$

注意: 1) 調和解析について。

周期関数は  $\sin$  と  $\cos$  の関数の和として表現できます。ここでは 12 縦線法(データ数 12 個)を用います。調和解析の詳細については、各自、数値計算法や応用数学の本を参照すること。

$$\begin{aligned} \theta(t) &= a_0 + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + a_3 \cos(3\omega t) + \square + a_6 \cos(6\omega t) \\ \theta(t) &= b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) + \square + b_6 \sin(6\omega t) \\ \theta(t) &= \phi_0 + \phi_1 \sin(\omega t + \phi_1) + \phi_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + \phi_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \square + \phi_6 \sin(6\omega t + \phi_6) \end{aligned} \quad \text{⑩}$$

$$12a_0 = y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} \quad \text{⑪}$$

$$6a_1 = (y_0 - y_6) + \frac{\sqrt{3}}{2}(y_1 - y_5 - y_7 + y_{11}) + \frac{1}{2}(y_2 - y_4 - y_8 + y_{10}) \quad \text{⑫}$$

$$6b_1 = (y_3 - y_9) + \frac{\sqrt{3}}{2}(y_2 + y_4 - y_8 - y_{10}) + \frac{1}{2}(y_1 + y_5 - y_7 - y_{11}) \quad \text{⑬}$$

ただし、 $\phi_1 = a_0, \phi_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \tan \phi_1 = a_1 / b_1, \square$

ここでは、 $\phi_1, \phi_1$ を求めれば十分である。

### 課題

1. 湿った土壌と乾いた土壌ではどちらが熱の伝わり速度が大きいと思うか？ 計算結果を基に考えなさい。
  2. 町屋海岸の砂浜の表面温度が正午に最大になるとする。地下 10cm に住んでいる貝は何時頃に温度のピークを感じるか？ 式⑦を基に考えなさい。
  3. 金属固体(例えば鉄)と土との熱的な特性の違いを 3 つ以上挙げなさい。
  4. 式⑤から式⑥、⑦を導け。
- 補) 余力があれば式⑪⑫⑬を導出してみよう。

## 4-6. 手作り熱電対 (補足実験)

余力があれば、次の実験もしてみよう。

### 準備するもの

銅線	60cm 程度	1 本
針金	30cm 程度	1 本
熱電対セット	電圧計、魔法瓶等	1 式

### 実験手順

1. 銅線を半分に切断し、針金の両端につなぎ接点 A, B とする。
2. 銅線の残った側に、それぞれバナナクリップをつける(手作り熱電対完成)。
3. 熱電対の検定と同じ要領で、各温度差の電位差を求める。

### 計算と結果

1. 手作り熱電対について温度差と電位差のグラフを作る。
2. 銅-コンスタンタン熱電対とあなたの作った熱電対のグラフにはどのような違いがあったか？ また、違いが現れた理由は何か？



## 実験番号 5) 土壌水をはかる

### 5-1. はじめに

現在、環境問題がクローズアップされている。不法投棄物(廃棄物)から染み出た有害物質や有毒物質、農薬が地下水へ拡散していく。乱開発の地では大雨が大地を浸食し、土砂が河川や海に流出するなど、水環境に甚大な影響が生じている。また、家庭や農場からの排水に含まれる窒素やリンは湖沼の富栄養化の原因の一つに数えられる。工場や産業廃棄物場からの排水に含まれる化学物質等による水質汚染や地下水汚染についても不安は堪えない。

一概に水質とはいふものの、その項目は多種にわたる(表 5-1)。環境保全のためには、その一つ一つを監視することが要求され、土壌や水質に関わる研究者や技術者はそれら各々の測定に熟知しておく必要がある。しかし、その項目があまりにも多岐にわたっているため、とても一人で全てを行うことが不可能に近いのも現実である。

農業農村工学を意識した技術者としては、これら全ての細々とした測定方法に通じることよりも、測定された項目の意味を総合的に反映し、環境改善に反映することが重要と思われる。

ここでは水温、濁度、pH、EC、CODなどの測定を通じて、土壌水の質について考える。

表 5-1 水質汚濁成分

有害有毒物質 (健康項目)	重金属 有毒物	水銀、カドミウムなど シアン、PCB など	単位
有機物など (生活項目)	有機物	BOD(生物化学的酸素要求量)、 COD(化学的酸素要求量)で表示	mg/l または ppm mg/l または ppm
	酸素	DO(溶存酸素量)	mg/l または ppm
	浮遊物質	SS(浮遊物質)、 濁度、透明度	mg/l または ppm cm など
	細菌	大腸菌、一般細菌	
	水素イオン	pH	0~14(7 が中性)
	電気伝導度	EC	μS/cm
	水温	T	°C または K
栄養塩類	窒素	T-N(全窒素), NH <sub>4</sub> -N(アンモニア態窒素), NO <sub>3</sub> -N(硝酸態窒素), NO <sub>2</sub> -N(亜硝酸態窒素)	mg/l または ppm mg/l または ppm
	リン	T-P(全リン), PO <sub>4</sub> -P(リン酸態リン)	mg/l または ppm
その他	塩分 放射性物質 油		

## 5-2. CODとは？

COD (Chemical Oxygen Demand: 化学的酸素要求量) は、一定の強力な酸化剤によって酸化される水中の物質の量であり、通常は消費された酸化剤に対応する酸素の量で表示される。また、COD は食べ物などの有機物由来の汚れを示す目安 (有機性汚濁の指標) であり、水がきれいかどうかを調べる基準 (水質の環境基準) 項目の一つになっている。

水中で酸化される物質は、各種有機物、亜硝酸塩、鉄(II)、塩、硫化物などがあるが、特殊な例を除けば主に有機物である。COD は河川水などの汚染を示す数値として BOD<sup>1)</sup> とともに、最もよく用いられる目安である。しかし、測定に用いる酸化剤の種類や濃度、酸化させる温度や時間などの条件によって、また有機物の種類や濃度によって酸化率が異なる。従って、COD の値は絶対的なものと考えず、BOD と同様に水中の有機物量の一つの指標と見るべきであろう。

COD の測定法には、過マンガン酸カリウム法 (KMnO<sub>4</sub>) や重クロム酸カリウム法 (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) などがある。本実験では前者の原理を用いる。

- 1) BOD (生化学的酸素要求量) は、好気性の微生物が水質中の有機物を分解するときに使う酸素量。通常、暗所で 20℃ 5 日間貯蔵した後の溶存酸素量を測定し計算する。

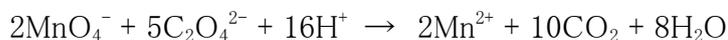
## 5-3. 過マンガン酸カリウム法の原理

KMnO<sub>4</sub> は次式のように反応する酸性溶液であり、強い酸化力を示す。



そこで、酸性にした試料水に一定量の KMnO<sub>4</sub> を加え、一定条件で試料中の被酸化性物質を酸化する (MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> が赤いので溶液は赤く染まります)。

次に、一定過剰量のシュウ酸ナトリウムを加えて未反応の MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> を次式のように分解する (MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> がなくなるので、溶液は無色になる)。



ここで、過剰の C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> を KMnO<sub>4</sub> 標準溶液で滴定すれば (再び色が付く)、被酸化性物質、すなわち有機物と反応した MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> 量が算出できる。

## 5-4. 土壌水の採取と水質測定

### 準備するもの (レポートには実際に使用したものを記述すること)

ビーカー		1 個
プラビーカー	大・小	4 個
注射器とポーラスカップ着きチューブ		1 個
100cc メスシリンダー		1 個
温度計		1 個
透視度計		1 個
蒸発皿		1 個
葉さじ		1 本
pH メーター		1 個
EC メーター		1 個
三角フラスコ	500mL のもの	1 個
滴定ビュレット	透明および褐色	2 本
ピペット		2 本
試薬	$\text{KMnO}_4$ , $\text{NaC}_2\text{O}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$	適量
土壌試料・醤油		

### 測定手順 (レポートには実際の手順を記述すること)

#### <土壌水の採取>

1. 片側にポーラスカップをつけたチューブを注射器につける。
2. ポーラスカップを模擬土壌内に挿入し(沈め)注射器を引く。
  - ・注射器内に集まった水を試料原液とする。
  - ・注射器内に土壌水が溜まらない場合は、模擬土壌をどろどろに作り替え、採取しなおす。200cc 以上取れれば理想的である(授業時間内では数 cc しかとれない)。

#### <pH, EC, 透視度の測定>

注射器に土壌水を採取しているあいだに透視度を測定する。

1. プラビーカー(大)にさじ一杯の土と 100cc 程度の水を入れ混合する。
2. 泥水の上澄み液を試料原液とする。
3. 試料原液の pH、EC を pH 計、EC 計を用いて測定する。
4. (簡易)透視度計に水道水を入れ、標識版が見えることを確認する。
5. 試料原液を使用し、簡易透視度計の値を記録する。
  - ・このとき、試料原液を捨てずに残しておくこと。
  - ・試料原液を全ていれても標識版が見える場合は、土壌水を再び採取し加えるか、広口ビン(あるいはビーカー)に土少量と蒸留水を入れ泥水とし、これを試料原液とする。
6. 試料原液を適当倍(2, 4, 8, 10…倍等)に薄めて、簡易透視度計の値を読む。  
各濃度の原液の pH や EC も測定してみよう。
7. 試料原液を 50cc 程度蒸発皿に入れ水分を蒸発させ、泥水中の土の乾燥質量をはかる。  
皿の質量、皿 + 泥水の質量をはかり、炉乾燥。粗乾燥重量は、翌日の昼休みを使って測定。

## <COD の測定>

### 1. 試薬を調整する。

既に調整済みの試薬が用意してある場合はそれを用いる。よく確認すること。

#### (1) 希硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4(1+2)$

広口ビンに水 200mL をとり、これに 100mL の濃硫酸を少しずつ攪拌しながら混合する。**薬品で火傷をしないように、十分に慎重におこなうこと!!**

#### (2) シュウ酸ナトリウム標準液 (0.025N)

乾燥したシュウ酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) 1.675g を水に溶かし 1 リットルとする。

#### (3) 過マンガン酸カリウム標準液 (0.025N)

過マンガン酸カリウム ( $\text{KMnO}_4$ ) 0.8g を水 1 リットルに溶かし、沸騰している水浴上で 2 時間以上加熱して一晩放置する。その後、褐色ビンに保存する。この溶液の濃度はおよそ 0.025N であるが、正確な値を評定する必要がある。

○蒸留水 100mL を三角フラスコにとり、希硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4(1+2)$  を 10mL 加える。

○ピペットでシュウ酸ナトリウム標準液 10mL 加えて、60~80°C に加熱する。

○過マンガン酸カリウム標準液で滴定し、溶液が無色から薄いピンク色になるまでに加えた過マンガン酸カリウム標準液の量  $\text{X mL}$  を求める。

○ファクター  $f$  を求める ( $f = 10 / \text{X}$ )。

### 2. 試料を用意する。

○先に注射器で採取した原液を土壌水試料とする。

足りない場合は、原液を 10~20 倍に薄め COD 測定に用いる(但し、後で原液の場合の COD 値に換算すること)。

○純水 200mL に醤油を一滴たらし、比較試料とする。

### 3. 試料水 100mL を三角フラスコにとり、希硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4(1+2)$ を 10mL 加える。

### 4. 過マンガン酸カリウム標準液をビュレットで 10mL 加え、直ちに沸騰水浴中で5分間加熱する。

### 5. 水浴中から三角フラスコを取り出し、シュウ酸ナトリウム標準液 10mL を加え、溶液を無色にする。

### 6. 過マンガン酸カリウム標準液で滴定し、溶液が無色から薄いピンク色になるまでに加えた過マンガン酸カリウム標準液の量 $\text{a mL}$ を求める。

### 7. 試料水の代わりに蒸留水 100mL を用いて「3.」から「6.」の操作をし、ブランク試験における逆滴定値 $\text{b mL}$ を求める。

### 8. 次式により、各試料溶液の COD 値を求める。

$$\text{COD (O}_2 \text{ mg/L)} = f \times 0.025 \times (\text{a} - \text{b}) \times 8 \times 1000 \div 100$$

注意: 1)COD の算出。

V mL の試料水およびブランク水を滴定するのに要した  $\text{KMnO}_4$  標準液をそれぞれ a, b mL、 $\text{KMnO}_4$  が消費された量をそれぞれ a, b mL とすると、

$$x \text{ (meq)} = f \times 0.025 \times (10 + a) - 0.025 \times 10$$

$$y \text{ (meq)} = f \times 0.025 \times (10 + b) - 0.025 \times 10$$

となる。ゆえに、試料水中の被酸化性物質と反応した量(x-y)は

$$(x-y) = f \times 0.025 \times (a - b)$$

となる。従って、COD 値は

$$\text{COD (O}_2 \text{ mg/l)} = f \times 0.025 \times (a - b) \times 8 \times 1000 / V$$

と表される。COD 値は、過マンガン酸カリウム消費量という表現で、( $\text{KMnO}_4$  mg/L)の値で示すことも、飲料水の水質検査などではよく用いられる。

$$\text{COD : 1 (meq/L)} = \text{O}_2 : 8 \text{ (mg/L)} = \text{KMnO}_4 : 31.6 \text{ (mg/L)}$$

**この実験に使用する過マンガン酸カリウムなどの重金属は土壤汚染などの環境破壊の元凶となります。廃液は必ずポリ容器に捨ててください。環境をはかる実験をしておきながら、実は環境を汚染してしまっただけです。ということがないように！！**

## 計算と結果

1. 泥水の濃度 C (mg/l)と透視度 L (cm)の関係をグラフにし、C と 1/L の回帰計算の結果をグラフ中に実線で書き込む。
2. 用いた土壌水の pH、EC、COD をまとめる。
3. 醤油1滴溶液の COD から醤油原液の COD を推定する。

## 課題

1. 近所の水の汚れ具合に与える自分の家の台所排水の影響について考えなさい。
2. 生活環境の保全に関する様々な環境基準を調べ、土壌内の物質移動について考察しなさい。



## 簡易水質測定キット "パックテスト"

水質の簡易測定器

**パックテスト**<sup>®</sup>

[標準タイプ]

PACKTEST [Standard Type]

型式：WAK-

全67項目

価格：各4,000円(税別)

チューブ先端のラインを引き抜いて水を吸い込み、反応時間後に吸い込んだ水の発色を標準色と比べます。

一番近い色の数値が、測りたい成分の濃度(mg/L=ppm)になります。

標準色1枚入り。標準色単品も販売しています。(p.6)

包装外形 約165L×110W×65H mm 梱包重量 約140g

**簡単操作**

スポイト式で簡単

**結果が早い**

ほとんどの測定が5分以内

**小さく軽い**

1個1g前後

**こわれない**

ポリエチレン製チューブ

**パックテスト<sup>®</sup>はもっとも簡単な水質測定器です。**



写真はWAK-COD

### 主な利用目的

- 工程管理 …… 原料管理、残留検査、用水管理、循環水管理、ボイラ水管理、RoHS指令対応
- 排水管理 …… 最終放流水の確認、排水処理施設の運転管理・立ち会い・検収、工場設備の異常の早期検査、排水調査・指導
- 飲料水検査(管理) …… 井戸水検査、簡易水道検査、受水槽検査、消毒確認、災害時・野外活動時の飲料水検査、家畜・牧場などの飲料水検査
- 環境調査 …… 河川・湖沼の水質調査、分布調査、残留調査、汚染源調査、酸性雨調査、温泉調査
- 教材 …… 小学校・中学校・高等学校・大学での環境教育実習、理科実験、研究調査、食品検査
- 農業 …… 水耕栽培養液の管理、農業用水検査
- 養魚管理 …… 養魚池の水検査、取水時の検査、観賞魚・水族館などの水検査、活魚の生け簀・輸送時の管理
- その他 …… 精密分析の事前検査、調査研究、毒物検出、プール水検査、機能水検査

# パックテスト® 測り方



# パックテスト® 比色の注意点

一番左の色の値が「0mg/L」の場合 0mg/Lでも、呈色します。

発色が標準色の色の間の場合には、だいたい中間の値を読んでください。

一番右の色の値が「〇〇以上」の場合には、これ以上高濃度になっても発色状態はほとんど変わりません。

反応時間は必ず守ってください。特に温度によって反応時間が変わる項目は厳守してください。

標準色の紙面にチューブの背面をつけて比色してください。紙面からチューブを浮かせると、色が薄く見えます。

**パックテスト® 標準色**  
Standard Color

型式：(各パックテスト型式)-S  
※お問い合わせください。

価格：各80円(税別)

各項目

- ※標準色の単品販売です。  
ケースはついていません。
- 一斉調査など、複数名で測るときに有効です。
  - 色調が変わるため、カラーコピーはご遠慮ください。

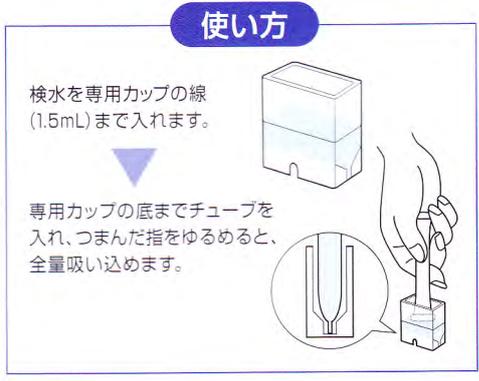
**パックテスト® 専用カップ**  
PACKTEST Square Cup

型式：WAK-CC10

価格：600円(税別)

10個入り

- ※専用カップの単品販売です。
- 本カップを使用することにより一定量(1.5mL)をチューブに吸い込めるので、より測定精度を高めたいときに有効です。
  - パックテストの種類により、あらかじめ専用カップがついているものもあります。
  - デジタル/パックテストのセルとしても使用します。



# パックテスト 測定項目一覧

型式	測定項目	測定目盛(mg/L)					測定時間	測定回数	使用用途						
		測定原理													
WAK-Ag	銀	0	0.5	1	2	5以上	3分	50	工程管理 排水管理						
		TBF法													
-Al	アルミニウム	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1	1分	40	工程管理					
		ECR法													
-Au	金	0	2	5	10	20	30秒	40	工程管理 排水管理						
		ローダミンB法													
-B(C)	● ● ほう素(高濃度)	0	5	10	20	50	100	10分	40	工程管理 排水管理					
		アゾメチンH法													
-B	● ● ほう素	0	0.5	1	2	5	10	30分	50	排水管理 環境調査					
		アゾメチンH法													
-Ca	カルシウム カルシウム硬度	0	2	5	10	20	50以上	2分	50	飲料水検査 環境調査 ボイラ水管理					
		0	5	12.5	25	50	125以上				PC法				
-Cl(300)	塩化物(300)	200以下	250付近	300以上			10秒	40	工程管理 腐食濃度判定						
		硝酸銀法													
-Cl(200)	塩化物(200)	100以下	150付近	200以上			10秒	40	飲料水検査 工程管理 ボイラ水管理						
		硝酸銀法													
-Cl(D)	塩化物(低濃度)	0	2	5	10	20	50以上	1分	40	飲料水検査 工程管理 環境調査					
		硝酸銀法													
-ClO(C)	● ● 残留塩素(高濃度)	5	10	20	30	50	100	150	200	300	600	1000以上	10秒	50	機能水検査 残留検査 工程管理
		よう化カリウム法													
-ClO-DP	● ● 残留塩素(遊離)	0.1	0.2	0.4	1	2	5	10秒	50	水道水検査 プール水検査 ボイラ水管理					
		DPD法													
-T・ClO	● ● 総残留塩素	0.1	0.2	0.4	1	2	5	2分	50	水道水検査 プール水検査					
		よう化カリウムとDPD法													
-ClO <sub>2</sub>	● ● 二酸化塩素	0.2	0.4	0.6	1	2	5	10	10秒	40	残留検査 水道水検査 プール水検査				
		グリシンとDPD法													
-NaClO <sub>2</sub>	● ● 亜塩素酸ナトリウム	5	10	20	50	100	150	200	300	500	1000以上	10秒	40	工程管理 残留検査	
		よう化カリウム法													
-CN	● 遊離シアン	0.02以下	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	10分	40	排水管理 毒物検出				
		4-ピリジンカルボン酸法													
-COD(H)	COD(250)〈化学的酸素要求量〉	0	30	60	120	200	250以上	5分	50	排水管理 環境調査					
		常温アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法													
-COD	COD〈化学的酸素要求量〉	0	5	10	13	20	50	100	5分	50	排水管理 環境調査 井戸水検査				
		常温アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法													
-COD(D)	COD(低濃度)〈化学的酸素要求量〉	0	2	4	6	8以上	5分	50	環境調査 飲料水検査						
		常温アルカリ性過マンガン酸カリウム酸化法													
-Cr <sup>6+</sup>	● ● 6価クロム	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	2分	50	排水管理 工程管理 RoHS関連					
		ジフェニルカルバジド法													
-Cr・T	全クロム	0.5	1	2	5	10	20	5.5分	40	排水管理 工程管理					
		酸化とジフェニルカルバジド法													

New

価格:4,000円(税別) **全67項目**

型式	測定項目	測定目盛(mg/L) 測定原理	測定 時間	測定 回数	使用用途
WAK-CS	陽イオン界面活性剤	0 5 10 20 50以上 ECR-アルミニウム法	5分	50	工程管理
-Cu ●●	銅	0.5 1 2 3 5 10以上 バックブロイン法	1分	50	工程管理 排水管理 ボイラ水管理
-CuM	銅(排水)	0.5 1 3 5 10 DDTC法	2分	50	工程管理 排水管理
-F ●	ふっ素(遊離)	0 0.4 0.8 1.5 3 8以上 ランタン-アリザリンコンプレキソン法	10分	50	工程管理 排水管理
-Fe ●	鉄	0.2 0.5 1 2 5 10 還元とαフェナントロリン法	2分	50	飲料水検査 井戸水検査 工程管理 ボイラ水管理
-Fe(D) ●●	鉄(低濃度)	0.05 0.1 0.3 0.5 1 2 還元とβフェナントロリン法	2分	50	飲料水検査 井戸水検査 工程管理 ボイラ水管理
-Fe <sup>2+</sup> ●	2価鉄	0.2 0.5 1 2 5 10 αフェナントロリン法	30秒	50	飲料水検査 工程管理
-Fe <sup>2+</sup> (D) ●	2価鉄(低濃度)	0.1 0.2 0.5 0.8 1.2 2.5 βフェナントロリン法	30秒	50	飲料水検査 井戸水検査 工程管理
<b>New</b> -Fe <sup>3+</sup> ●●	3価鉄	2 5 10 20 50 100 スルホサリチル酸法	30秒	50	工程管理
-FOR ●	ホルムアルデヒド	0 0.1 0.2 0.3 0.5 1 2 MBTH法	4分	40	工程管理 排水管理
-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (C) ●●	過酸化水素(高濃度)	3 7 13 20 35 70 100 130 200 400 700 よう化カリウム法	20秒	50	工程管理
-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ●●	過酸化水素	0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 5 酵素を用いた4-アミノアンチピリン法	1分	50	残留検査 食品検査
-HYD	ヒドラジン	0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 p-ジメチルアミノベンズアルデヒド法	10分	40	ボイラ水管理 工程管理
-Me	金属総量(5種)	0 0.2 0.5 1 2 5以上 PAN法(Cu,Zn,Mn,Ni,Cdの合計濃度)	1分	50	排水管理 環境調査
-Mg	マグネシウム マグネシウム硬度	0 1 2 5 10 20 0 4.1 8.2 20.5 41 82 チタンエロー法	1分	50	飲料水検査 農業管理
-Mn ●●	マンガン	0.5 1 2 5 10 20 過よ素酸カリウム法	30秒	50	飲料水検査 工程管理
-Mo	モリブデン	5 10 20 50 100 200 500 カテコール変法	1分	50	ボイラ水管理 工程管理
-Ni	ニッケル	0.5 1 2 5 10 ジメチルグリオキシム法	2分	50	排水管理 工程管理
-Ni(D) ●●	ニッケル(DPM)	0.3 0.5 1 2 5 10 ニオキシム法	2分	50	排水管理 工程管理

●…デジタルバックテスト対応(p.15~16) ●…デジタルバックテスト・マルチ対応(p.17~20)

※ バックテストとデジタルバックテスト、デジタルバックテスト・マルチでは、測定範囲・反応時間・共存物質の影響が異なります。

※ 測定項目によっては、海水で使用できない場合があります。詳細は、弊社ウェブサイトの一覧表をご確認いただくか、弊社までお問い合わせください。

# パックテスト® 測定項目一覧

型式	測定項目	測定目盛(mg/L)						測定時間	測定回数	使用用途	
		測定原理									
WAK-NH <sub>4</sub> (C)	アンモニウム(排水) アンモニウム態窒素(排水)	0	0.5	1	2	5	10	20以上	10分	50	排水管理 環境調査 養魚水管理 ボイラ水管理
		0	0.5	1	2	5	10	20以上			
		インドフェノール青法									
-NH <sub>4</sub>	● ● アンモニウム ● ● アンモニウム態窒素	0.2	0.5	1	2	5	10	5分	50	環境調査	
		0.2	0.5	1	2	5	10				
		インドフェノール青法									
-NO <sub>2</sub> (C)	● 亜硝酸(高濃度) ● 亜硝酸態窒素(高濃度)	16	33	66	160	330	660以上	5分	50	排水管理 工程管理	
		5	10	20	50	100	200以上				
		グリース変法									
-NO <sub>2</sub>	● ● 亜硝酸 ● ● 亜硝酸態窒素	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2分	50	環境調査 養魚水管理 井戸水検査 教材	
		0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2				0.5
		ナフチルエチレンジアミン法									
-NO <sub>3</sub> (C)	● 硝酸(高濃度) ● 硝酸態窒素(高濃度)	90	225	450	900	2250	4500	5分	50	排水管理 工程管理	
		20	50	100	200	500	1000				
		還元とグリース変法									
-NO <sub>3</sub>	● ● 硝酸 ● ● 硝酸態窒素	1	2	5	10	20	45	3分	50	飲料水検査 用水管理 環境調査 教材	
		0.2	0.5	1	2	5	10				
		還元とナフチルエチレンジアミン法									
-TN·i	全窒素(無機)	0	5	10	25	50	100	20分	40	排水管理	
		還元とインドフェノール青法									
-O <sub>3</sub>	● ● オゾン	0.1	0.2	0.5	1	2	5	1分	50	残留検査 工程管理	
		酵素を用いた4-アミノアンチピリン法									
-Pd	パラジウム	1	2	5	10	20	30	50	1分	50	工程管理
		よう化カリウム法									
-pH	pH(ピーエイチ)	pH 5.0 — 9.5		0.5 間隔		10段階		20秒	50	排水管理 河川調査 井戸水検査	
		pH指示薬の発色による									
-TBL	pH-TBL	pH 1.6 — 3.4		0.2 間隔		10段階		20秒	50	環境調査 排水管理	
		pH指示薬の発色による									
-BCG	酸性雨用(pH-BCG)	pH 3.6 — 6.2		0.2 間隔		14段階		20秒	50	酸性雨調査 湖沼調査	
		pH指示薬の発色による									
-BTB	pH-BTB	pH 5.8 — 8.0以上		0.2 間隔		12段階		20秒	50	飲料水検査 養魚水管理	
		pH指示薬の発色による									
<b>New</b> -PR	pH-PR(水道用)	pH 6.2以下 — 8.8以上		0.2 間隔(両端0.4)		12段階		20秒	50	水道水検査 プール水検査	
		pH指示薬の発色による									
-TBH	pH-TBH	pH 8.2 — 9.6		0.2 間隔		7段階		20秒	50	環境調査 排水管理	
		pH指示薬の発色による									
-PMD	過マンガン酸カリウム消費量	0	3	6	10	12	15	7分	50	プール水・公衆浴場検査 飲料水検査	
		常温アルカリ性過マンガン酸カリウム消費法									
-PNL	● ● フェノール	0	0.2	0.5	1	2	5	10	8分	40	排水管理 工程管理
		酵素を用いた4-アミノアンチピリン法									

## 実験番号 6) 土壌の履歴書を見る (土壌断面)

### 6-1. はじめに

これまで、環境土壌学実験を通し様々な土壌の物理性を測定してきた。

土壌についてわかることは室内実験だけでも沢山あり、これらの実験や測定は、土壌中で生じる様々な現象を扱う上で非常に重要な意味を持っている。しかし、実際の土壌は非常に不均一・非等方であり、そこで起こる現象は複雑である。また、実験室レベルでは見えてこない現象も多々ある。

そこで最後に実際に現場へ出かけ、土壌の現地調査を行う。試掘作業を通し、層位の区分、土色、土壌構造などを調べ、土壌調査法的一端に触れる。また、それぞれの室内実験と実際の現場の繋がりについて考える。

### 6-2. 断面調査法

土壌の断面調査法は一般的な土壌学の記載に準じる。現場に行く前に、資料や図書館などを利用して調査法を予習しておくこと(現地ではテキストを読んでいる余裕はない)。

### 6-3. ピット掘削と断面調査

#### 準備するもの (一例) (レポートには実際に使用したものを記述すること)

<u>実験ノート</u>	<u>各自持参すること</u>	
<u>断面調査票</u>	本テキスト末尾をコピー、あるいは自作も可	
スコップ		1本/班
移植ごて		3個
100cc サンプラー	土を採取する	20個
ハンマー(木づち)	土が硬いときにサンプラーを押し込む	3個
2 cm 厚程度の木板	土が硬いときにサンプラーを押し込む	3個
土壌ナイフ(カッター)	サンプラー上下を成型する	6個
包丁		6個
山中式硬度計	硬度測定用	3個
マンセル土色帳	土色を特定する	3冊
カメラ	断面の写真その他を記録する	1個
巻き尺		
コンベックス・折尺		
ビニールテープ	サンプラー用	
救急箱	緊急用	1式

## 作業手順 (レポートには実際の手順を記述すること)

### <土壌断面の作成>

地面を掘り下げ、土壌を観察するための垂直な断面(土壌断面)を切りだす。

土壌断面は、一般に傾斜地では斜面に直角な面を、平坦な地では日光がムラなく当たる面を選ぶ。

土壌調査用の標準断面は幅 1m 深さ 1~1.5m 程度(図 6.1)。試掘するときには、土壌の硬軟、粘り具合、石礫や根の分布の概略をつかむようにする。

土壌断面観察用の穴を土壌ピット(単にピット、試掘坑)と呼ぶ。試掘した土は「表層(作土層)、下層(心土層)」などを地表面に別々に置き、調査終了後は元通りに埋め戻す。また土壌断面周囲を必要以上に踏み荒らし、表層の自然状態を乱すことがないように注意すること。

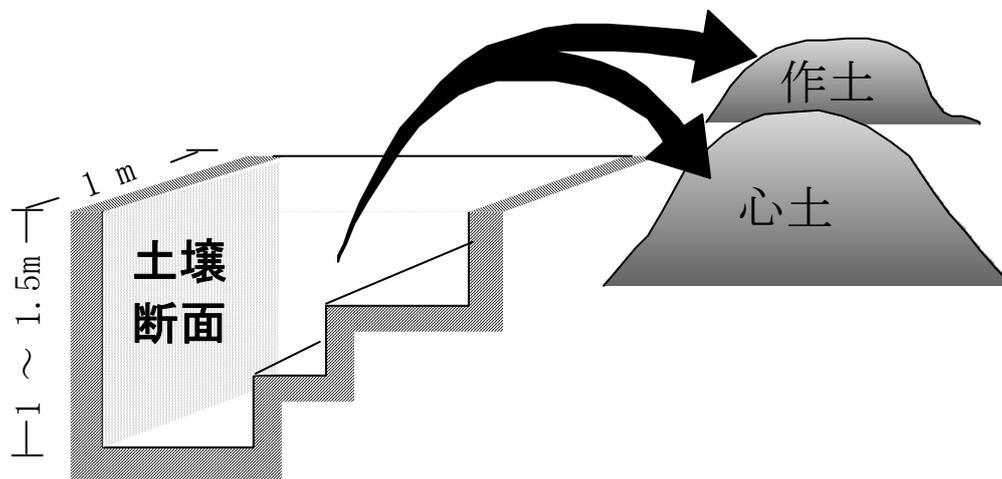


図 6.1 試掘孔(テストピット)の作り方

### <断面調査>

試掘作業が終わったら、断面を包丁や土壌ナイフ等で平らにして(成型)、調査を始める。各自調査票記入例を参考に、調査票の各項目(断面のスケッチ、層位、土色、根の整理、土性、水分状態、硬度など)を記載する。

### レポートのポイント

- (1) 調査現場の土壌について分かったこと
- (2) 断面調査の解釈
- (3) 断面調査スケッチ
- (4) 現場調査の感想

## ○スケッチと写真撮影

土壌断面ができれば、断面写真を撮る。

写真は、スケールを断面左側(または場合によっては右側)に立てかけ、調査年月日等を記載した札(野帳など)を置いて撮影する。写真は、「広域、中域、試掘坑周辺」などを順に撮影し、第三者に説明しやすい情報を網羅すること。このとき、土壌断面だけでなく、周囲の地形や植生の写真を撮っておくことも重要。

続いて、断面のスケッチをする(図 6.2)。土層の状態、層位の推移状態、石や礫・根の分布などの土壌の特徴をよくつかんで書くことが重要。色鉛筆などを用いるのもよい。また、調査地付近の環境、地形などの情報も合わせて記すようにする。

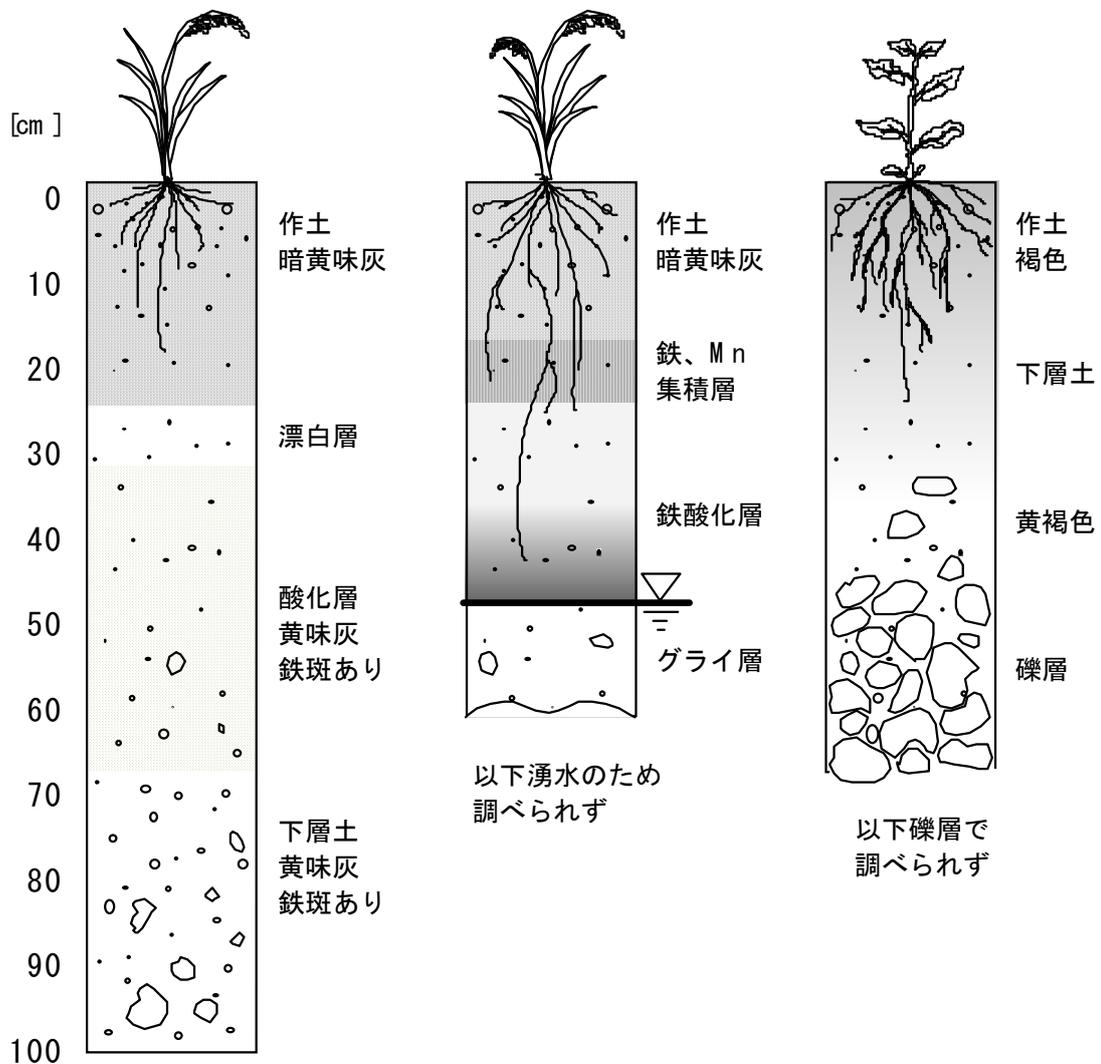


図 6.2 土壌断面のスケッチの例

## ○層位と層界

土壌は、色、硬さ、手触り、根の分布などの性質が違った層が、おおよそ水平に積み重なってできている。これらの層を層位(あるいは土壌層位)と呼ぶ。土壌は一般に上から順に「A層、B層、C層」などの層位が形成される。

C層は土壌の無機質材料(母材)。A層は母材に生物の影響が加わって生成した層であり、腐植のために暗色に見えることがある。B層はC層とA層の間中間的な層であり、土壌内成分の「溶脱・集積層」とも呼ばれる。

実際は、A、B、Cの各層位の特徴や性質は変化に富んでいる。そこで、こうした特徴や性質を区別するために、層位の記号A、B、Cに続いて数字や文字(小文字)を添えて、いくつかの層位に細分する(表6.1)。

こうした層位の厚さ(層厚)、層位と層位の境界(層界)、なども土壌の重要な情報である。層界は、土壌の物理性や化学性、生物の影響が急激あるいは徐々に変化していることを示している。そこで、土壌断面調査票には、層位の区分と同時に層厚、層界(表6.2)もわかるように記載するように心がける。

表 6.1 層界の明瞭度と形状

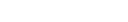
明瞭度	層界の幅	記号	形状	層界の起伏	記号
画然	1cm 以内		平坦	ほとんど平面	
明瞭	1 ~ 3cm		波状	凹凸の深さが幅より小	
判然	3 ~ 5cm		不規則	凹凸の深さが幅より大	
漸変	5cm 以上		不連続	層位が不連続	

表 6.2 層位の区分

### 主層位(master horizon)

L	植物組織の原形が明瞭に認められる、新鮮な落葉落枝の層。
F	部分的に分解されて細くなった前年の落葉落枝からなる層。
H	未分解または分解した植物遺体の有機質層。水面下で形成されたもので、水で飽和されていることが多い。泥炭、あるいは黒泥とも呼ばれる(UNESCO, USDA では O 層)。
O	未分解または分解した植物遺体からなる有機質層のうち泥炭以外の層。水で飽和されることはほとんどない(FAO/UNESCO, SSSA では H 層)。
A	表層又は O 層の下に生成された無機質層。起源の岩石や堆積物の組織を失い、かつ次の 1 つ以上の特徴を持つもの。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・無機質部分とよく混ざり合った腐植化した有機物が集積し、かつ E または B 層の特徴を持たない。</li> <li>・耕耘、放牧、または同様の攪乱の結果生じた性質。</li> <li>・表層攪乱作用の結果生じた下位の B または C 層と異なる形状。</li> </ul>

- E 珪酸塩粘土、鉄、Al が溶脱し、砂とシルトが残留富化し、また起源の岩石や堆積物の組織を失った淡色の無機質層。普通 O または A 層と B 層の間にある。
- B A、E、O または H 層の下に形成された無機質層。起源の岩石または堆積物の組織を失い、かつ次の 1 つ以上の特徴を持つもの。  
 ・A、E 層から溶脱した珪酸塩粘土、鉄、Al、腐植、炭酸塩、石膏、珪酸の集積富化。  
 ・炭酸塩が溶脱した証拠。  
 ・鉄や Al の酸化物の残留富化。土粒子を鉄や Al の酸化物が被覆していて、上下の層位より明度が著しく低いか、彩度が高いか、または色相が赤い。  
 ・珪酸塩粘土、遊離酸化物の生成と粒状、塊状、柱状構造の発達。
- C 土壌の母材となる岩石の物理的風化層または非固結堆積物層。ほかの主層位の特徴を持たない。上位の層位から溶脱したものの集積でなければ、珪酸、炭酸塩、石膏、鉄酸化物などの集積層は C 層になる。
- G 強還元状態を示し、ジピリジル反応が即時鮮明なグライ層。干拓地のヘドロのように、ジピリジル反応は弱くても、水でほぼ飽和され、土塊を握りしめたとき土が指の間から容易にはみ出すほど軟らかく、色相が 10YR よりも青灰色の層も含む。日本特有の用法で、FAO/ISRIC の方式では Cr 層にほぼ相当する。
- R 土壌の下の硬い基岩(母岩)。岩の塊を水中に 24 時間浸してもゆるまず、固くてスコップで掘ることはできない。亀裂を伴うことがあるのは非常にまれで、根は殆ど入ることはできない。

#### 主層位の付随的特徴(主層位記号に添える)

- a 良く分解した有機質層。
- b 埋没生成層位。埋没した土壌生成層位。有機質土壌には使わない。
- c 結核またはボジュールの集積。ふつう構成成分を表す添字を併記する。
- d 物理的根の伸長阻害。
- e 分解が中程度の有機物物質。
- f 凍土。
- g グライ化。季節的停滞水による酸化・還元の反復により三二酸化物の斑紋を生じた層。
- h 有機物の集積。無機物層における有機物層の集積を表す。
- i 分解の弱い有機物物質。
- j ジャロサイト斑紋の出現。
- k 炭酸塩の集積。
- m 固結または硬化。
- n ナトリウムの集積。交換性ナトリウムの集積を表す。
- o 三二酸化物の残留集積。
- p 耕耘などの攪乱。耕起作業による表層の攪乱を表す。
- q 珪酸の集積。二次的珪酸の集積を表す。
- r 強還元。地下水または停滞水による連続的飽和の下で、強還元状態が生成または保持されていることを示す。
- s 三二酸化物の移動集積。有機物-三二酸化物複合体の移動集積を表す。
- t 珪酸塩粘土の集積。
- v プリンサイトの出現。湿状態で硬く、空気にさらされると不可逆的に固結する鉄に富み腐植に乏しい物質の存在を示す。
- w 色または構造の発達。
- x フラジバン物質の形質。
- y 石膏の集積
- z 石膏より溶けやすい塩の集積。
- ir 斑鉄の集積。(日本独自の記号。水田土壌の生成過程において重要。常に g を伴う。)
- mn マンガン斑・結核の集積。(同上)

## ○土色

土色は最も重要な土壌の形態的特徴の一つであり、物理性、化学性、生物的性質と密接に関連している。土色は土色帖(マンセル表色系に準じる)を用い、色相・明度・彩度の属性に注意して判定する。

## ○土性

土粒子は粒径によって

礫	粒径 2mm 以上	(水をほとんど保持しない)
粗砂	2~0.2mm	(毛管水を保持する)
細砂	0.2~0.02mm	(同上。目で確認できる限界サイズ)
シルト	0.02~0.002mm	(凝集して土塊を形成する)
粘土	0.002mm 以下	(コロイド的性質を持つ)

と5段階に区分される。土性は、細土(2mm以下)の土壌の組成のことであり、砂、シルト、粘土の重量分率によって図6.3のように区分されている。

土性区分	略号
砂	土 S
壤質砂	土 LS
砂壤	土 SL
壤	土 L
シルト質壤	土 SiL
砂質埴壤	土 SCL
埴壤	土 CL
シルト質埴壤	土 SiCL
砂質埴土	土 SC
軽埴土	土 LiC
シルト質埴土	土 SiC
重埴土	土 HC

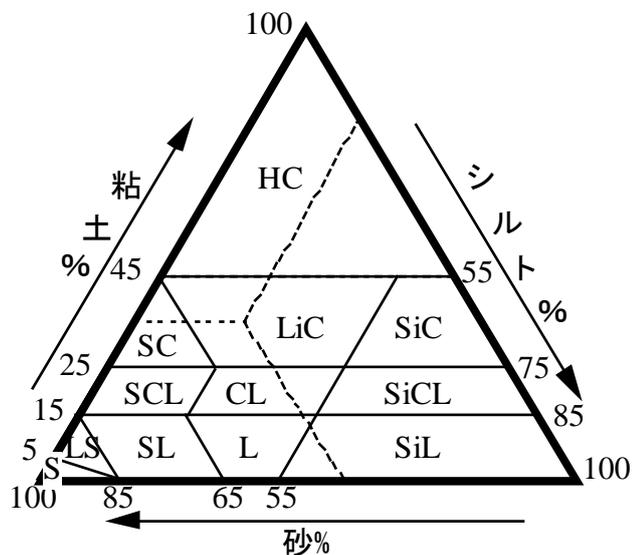


図 6.3 土性三角図表

土性の正確な判定は、室内での実験を要するが、野外では手触りや見た感じからおおまかに判定する(表 6.3)。

表 6.3 野外土壌判定の目安

判定法	土性名
ほとんど砂ばかりで粘りけを全く感じない。	砂土(S)
砂の感じが強く、粘りけはわずかしかない。	砂壤土(SL)
ある程度砂を感じ、粘りけもある。砂と粘土が同じくらいに感じられる。	壤土(L)
砂はあまり感じないが、サラサラした小麦粉のような感触がある。	シルト質壤土(SiL)
わずかに砂を感じるが、かなり粘る。	埴壤土(CL)
ほとんど砂を感じないで、よく粘る。	重埴土(HC)

### ○礫

礫は土壌に含まれる直径 2mm 以上の鉱物質粒子のこと。礫については、岩質、風化の程度、大きさ、形状、含量などを記載する。岩質は、構成物質をルーペなどで観察し、標本や図鑑から判断する。風化の程度は、もとの岩石の硬度と色を保つもの(未風化);多少変質しているが、なお硬度を保つもの(半風化);手で砕ける程度に風化しているもの(風化);スコップで簡単に削れる程度に風化しているもの(腐朽)の 4 段階に区別する。

### ○腐植

腐植は、動植物の遺体が土壌中で生物的に分解されたのち、これらの分解生成物が重縮合してできた暗色の比較的安定な高分子化合物。未分解の根や破片は含まない。腐植含量は土壌の物理化学的、生物的性質や土壌の肥沃性を大きく支配する要因となる。

腐植の多・少は、土の色の黒味と触感の柔らかさ、あるいは腐り具合から総合的に判断する。正確に腐植含量を判定するには、室内実験が必要だが、現場では土色帳の明度から表 6.4 のように区分することができる。

表 6.4 腐植含量の目安

区 分	腐植含量	土色(明度)
あり	2% 以下	明 色 (5 ~ 7)
含 む	2 ~ 5%	やや 暗色 (4 ~ 5)
富 む	5 ~10%	黒 色 (2 ~ 3)
すこぶる富む	10 ~20%	著しく黒色 (1 ~ 2)
腐植土	20% 以上	真 っ 黒 (2 以下)

## ○構造

土壌は、砂や粘土の粒子がバラバラに詰まっているのではなく、乾燥や湿潤、植物の根や土壌動物の活動などの作用でいろいろな大きさの形の集合体(ペット)を形成している。これを土壌構造という。土壌構造は一般に大きさ、形状(団粒状、粒状、角塊状、亜角塊状、板状、柱状、単粒状、壁状など)、内部の緻密度(強度、中度、弱度など)を区分する。

土壌構造には、同一の層位の中にいくつかのものが混じり合っていたり、ある構造が集合して二次的な構造を形成していることもある。こうした構造の違いも区別する必要がある。

## ○孔隙

孔隙は、土の隙間や亀裂などである。観察したところで、隙間や亀裂の大きさ、量、形状、連続性、方向性などを判断する。孔隙の大きさと量については、表 6.5 のような判断基準が用いられることがある。

表 6.5 孔隙の大きさと量

区分	孔隙径	区分	亀裂幅	区分	2.5cm <sup>2</sup> あたりの量
細	0.1~0.5mm	狭小	1mm 以下	なし	—
小	0.5~ 2 mm	中幅	1~ 3mm	あり	1~ 3 個
中	2 ~ 5 mm	幅広	3~ 5mm	含む	4~14 個
粗	5mm 以上	極幅広	5~10mm	富む	15 個以上

## ○土壌硬度

土壌硬度は「山中式硬度計」で測定する。山中式硬度計では土壌の硬度が mm で表される。なお、土の硬度や緻密度は指や手のひらで押したり、握ったり、潰したりした感触をもって測定することもある。なお、親指の貫入程度と山中式硬度計には表 6.6 のような関係があるといわれている。

表 6.6 硬度計計測値と親指貫入程度

区分	山中式硬度計	親指貫入程度
極粗	10mm 以下	ほとんど抵抗なく指が貫入する。
粗	11~15mm	やや抵抗はあるが貫入する。
	15~18mm	第一関節以上はかなりの抵抗はあるが貫入する。
中	18~20mm	第一関節まで貫入する。
	20~24mm	かなりの抵抗があり、貫入せずへこむ程度。
密	25~28mm	指あととはつくが貫入しない。
極密	29mm 以上	指あともつかない。

### ○透水性、粘着性、可塑性など

透水性は隙間の多少や亀裂の有無などに注意して考える。可能であれば、減水深から測定することもある。

粘着性や可塑性は土に少量の水を加え、パチンコ玉程度の大きさの団子をつくり、これを紐状に伸ばした程度で判断する。

### ○その他

その他気づいたことを記載し、土壌断面調査票を完成させる。

### 課題(小論文形式で解答すること)

1. 自然に堆積した土壌断面では、「層序、層位」(サンドイッチのような層構造)が一般的に水平方向に形成されている。それはなぜか? 理由を考えてみよう。
2. 町屋海岸の土壌断面において、地表面に近い層が乾燥し、その直下の層が湿った現象があった。それはなぜか? その現象の理屈を解説してみよう。
3. 土壌断面には、粘土が多く含まれている層が、砂が多く含まれている層が互いに上下に重なって堆積していることがある。それはなぜか? 解説してみよう。
4. 土壌断面は「その土地の履歴書」と言うことがある。それはなぜか? 解説してみよう。

## 土壌断面調査票

番号	調査地点		地目			天候		調査前 の天候		
	傾斜	侵食	地形	地質	母岩・堆積様式	透水性	粘性	湧水面	根の状態	
断面スケッチ	深さ	層位	礫	腐植泥炭	斑紋	硬度	透水性	粘性	湧水面	備考
	層界	土性	礫	腐植泥炭	孔隙	硬度	透水性	粘性	湧水面	
	- 0			色						
	・									
	-									
	・									
	-20									
	・									
	-									
	・									
	-40									
・										
-										
・										
-60										
・										
-										
・										
-80										
・										
-										
・										
-100										
作(植)物の生育状況										
土壌統										

土壤断面調査票 (例)

番号	調査地点		紀伊・黒潮フィールド・サウスセクター		地目		農場(普通畑)			天候	晴れ	調査前 の天候	晴れ
	1度	傾斜	調査地点	地形	洪積台地中位面	地質	洪積層	母岩・堆積様式	透水性	粘性	湧水面	根の状態	備考
断面スケッチ			侵入 深さ 層界										
			0										
			20	細小円 礫 あり	5YR 3/3	団粒状	少	なし	16	良	小	細小富む	みみず多数
			40	同上含 む	7YR 3/2.5	粒状	中	なし	18	中	中	細小含む	
			60	同上富 む 一部風 化	7.5YR 4/4	亜角塊状	中	Mh点状 2~3%	25	中	中	細小あり	
			80	細~中 の 円礫富 む	10YR 5/6	壁状	多	Mh点状 5~8%	29	良	中	なし	
			100						32				
作(植)物の生育状況	ササ、クロマツ												黒ぼく土
	土壌統												



## 実験番号 7) 土壌断面を抜き取る (マイクロモノリスの作成)

### 土壌断面標本(モノリス ; "monolith")の作製法

土壌断面標本を土壌モノリスという。モノリスには、土壌断面をそのまま木箱に納めた柱状土壌モノリス、樹脂で裏打ちして薄く剥いでつくった薄層土壌モノリスおよび、各層位から土壌をとって小箱に納めたマイクロモノリスがある。完全なものを永久保存するためには、薄層土壌モノリスがもっともすぐれている。

#### (1) 野外での柱状土壌モノリス採取

- 1) 試坑を掘り、採取面をねじり鎌、包丁などで平滑に削る。
- 2) 木製モノリス箱の表と裏の蓋をはずし、採取面に当て、内面に沿って包丁で線を入れる。この線に沿って掘り込み、たて、よこがモノリス箱と同じで、奥行きが 3～5cm 深い柱状土壌断面(上柱)をつくる。
- 3) 上柱に木箱を押しはめ、箱からはみ出た部分をきれいに削り落とし裏蓋をする。
- 4) 箱を支えながら、上柱の奥をくさび形に掘り込み、両側から 1/3 程度ずつ掘り込んだところで、箱の下端を足で奥の方へ押し、上部からスコップをゆっくり押し込み、上柱を切り離す。採取した柱状モノリスは、表面を平らに削り、表蓋をする。
- 5) 木箱に入った柱状モノリスを送るときは、エアキャップと巻段ボールでそれぞれ二重に巻いて梱包する。
- 6) 柱状モノリスは、乾燥するとひび割れし、展示にたえなくなるので、薄層モノリスに加工して保存した方がよい。

#### (2) 室内での薄層土壌モノリス作製

- 1) 柱状モノリスの入った木箱の表蓋を開け、大きな亀裂や凸凹をていねいにうめて平らにする。
- 2) 断面よりたて、よことも 10cm 程度大きい裏打ち布(寒冷紗等)を当て、エポキシ系樹脂<sup>注 1)</sup>[2000cm<sup>2</sup> 当たり樹脂主剤(トマック NR51)500g、硬化剤(トマック NR51-W)200g を使用直前に調合する]を塗布、布を断面の大きさに折り返し、さらに樹脂の全量を塗布する。
- 3) 一晩放置、硬化後 2 層になっている上部(厚さ 1.5cm)の枠のねじをはずし、下部の枠との間に 3mm 程度のすき間をつくる。このすき間に沿って両刃鋸で一方の端から切り進みながら剥ぎ取る。この作業は 2 人以上で行う。次に剥ぎ取った薄層断面と接着している木枠をカッターで切り離す。
- 4) 2 層になっていないモノリス箱の場合は、樹脂硬化後、接着している木枠と上柱をカッターで切り離した後、下方から断面と同じ大きさの厚さ 1.5cm の発砲スチロール板を当て、断面を押し上げる。この押し上げた部分を両刃鋸で切りながら剥ぎ取る。

- 5)剥ぎ取った薄層断面は、エポキシ系樹脂を塗布したマウンティングボード(ベニヤ板製の適当なもの)に移し、表面を包丁(ナイフ)であらく平坦に整えた後、重しをして放置、固定する。
- 6)最後の仕上げは、ナイフまたはカッターを用いて整形し、自然の形態、構造になるべく近づける。一夜放置し、再度表面を整形した後、普通 5 倍の水でうすめ、1%相当の中性洗剤を加えた木工用ボンド CH18 を、全面に駒込ピペットで 2~3 回滴下し、1 日以上放置、乾燥させる。乾いた状態で断面を立ててもが崩れ落ちなくなるまで、この操作を数回繰り返す。
- 7)木工用ボンドの滴下だけで土の濡れ色が十分に出ない時は、ビニライト VYHH(エスレック C、積水化学製でも可)3~1%希釈液をスプレーする。

### (3) 野外で直接薄層土壌モリスを作製する方法

- 1)試坑の採取面~樹脂ののりをよくするために、10℃程度の傾斜をつくり、樹脂の塗布する範囲に色をつける。
- 2)一断面(2000cm<sup>2</sup>)分のトマック NR51(エポキシ系樹脂主剤) 500g に、硬化剤(トマック NR51-W)200g を加え調合する。ただちに、刷毛を用いて、断面の上部から下部へ、ベニヤ板に当てて流れ落ちる樹脂を受けとめながら塗布する。一通り塗布したら、裏打ち布を当てて、刷毛でよく密着させ、さらにその上から樹脂を塗布する。トマックは天気がよければ半日で硬化するが、通常は一晩放置して十分硬化させる。
- 3)トマック NR51 の代わりにトマック NS10(ウレタン系樹脂)<sup>注2</sup>を用いることもできる。採取断面 2000cm<sup>2</sup> 当たり 500g のトマック NS10 をトマック NR と同様に断面に塗布する。この樹脂は水に反応して硬化するので塗布後スプレーで水を散布し、白い膜を作る。1~2 時間で硬化する。
- 4)樹脂の硬化後、採取面の両側を掘り込み、ついで左右から内側へ、採取断面の厚さを 4~5cm に保って切り込む。次に採取面と同じ大きさのベニヤ板を当て、断面をベニヤ板で支えながら、上方からスコップを押し込み、剥きとる。
- 5)作業室へ持ち込み、上記「(2) 室内での薄層土壌モリス作製」の 5)~7)に従って薄層土壌モリスを作る。

### (4) マイクロモリスの採取

簡略なモリスでよければ、マイクロモリスを採取する。土壌断面の各層位から小試料を採取し、層位順にいくつもの仕切りのついた小箱に納めるか、樹脂で固め台紙に貼る。層の厚さを実際に縮めて並べる場合もある。

注 1,2) これらの樹脂は三恒商事 KK(大阪 Tel.06-538-0571)で人手できる。

参考) 日本ペドロジー学会編:土壌調査ハンドブック改訂版、155-157、博友社(1997)

## 実験番号 8) 微気象を測る (気温、湿度、露点温度、蒸発量、水温、大気圧 etc.)

### 8-1. はじめに

大気の状態変化が土や水に影響をもたらす。土では地温の変化や微生物活動の変化として現れ、水では水温変化や水質の変化などとして現れる。また、土も水もその表面では日中の蒸発や夜間の結露現象が見られるのである。この蒸発や結露はそれが生じる表面温度、大気温度・湿度、大気圧に直接的に左右される現象である。また、間接的には日中の太陽放射量(日射量とも言う)や夜間の放射量に左右されているのである。

この実験では、以上の事柄に理解を深めるために以下の実験を行い、その測定結果を整理し、吟味すれば微気象が単に土や水の状態変化だけでなく、動物の発汗や植物体の溢泌(蒸散)による体温維持にも関係していることに気付くであろう。

### 8-2. 室内において以下の諸項目について計測する

①気温、②湿度、③水温、④大気圧、⑤蒸発計蒸発量

計測器類：①と②； アスマン通風乾湿計による

- ③； サーミスター水温計あるいは水銀ガラス温度計(蒸発計に入れる)
- ④； 水銀気圧計(物理実験室)
- ⑤； 蒸発計とメスシリンダーによる(蒸発計の蒸発面積も求めておく)

(1)蒸発計を二個用意する。その中に水道水をメスシリンダーで正確に読み取り約500cc 入れる。それら蒸発計を一つは野外の日当り場に、もう一つは日陰場に置き、温度計を二つの蒸発計内に各々浸ける。

(2)午後1時半頃から測定を始め、午後4時頃まで30分置きに①～④を計測する。始めと終り(午後4時頃)に⑤を測定する。その間の経過時間をメモすること(それは時間当りの蒸発量を求めるため)。

(3)アスマン通風乾湿計の読み取り作業： ガーゼを巻いた方に水を十分付ける。ゼンマイを巻くと空気が吸い込まれる(通風が起る)ので、直ちに機器を鉛直に約1分保持してガーゼの無い方(乾球温度 $\theta_a$ 、気温のこと)とガーゼの方(湿球温度 $\theta_g$ )を読取る。その際、空気の吸い込み口を手で触らぬこと(触るとその場所の温度を計測したことに成らぬ)。

### 8-3. 水平面日射量（太陽放射量）と蒸発量の関係

晴れた日の水平面日射量( $J_s$  ジュール/( $\text{cm}^2 \cdot \text{時間}$ )と水面蒸発量( $E_{cc}/\text{cm}^2/\text{時間}$ )とはおよそ\*次式の関係にある。

$$J_s = f \times I \times E \quad (1)$$

$$\text{ここに、} J_s = 8.3 \text{ ジュール} \times 60(\text{min}/\text{時間}) \times P^{\cos h} \times \sin h / (\text{cm}^2 \times \text{min}) \quad (2)$$

$P$  は大気透過率と言い、約 0.7 に相当する。 $h$ : 太陽高度( $^\circ$ )。 $l$ (エル)は蒸発の潜熱といい、 $l=2,400\text{J}$ (ジュール)/g。 $E$  値は蒸発量を蒸発計面積  $A_{\text{cm}^2}$  で割ると求まる。太陽高度  $h$  と緯度  $\phi$  (津市は約  $35^\circ$ )、赤緯\*\* $\delta$  (図 1・3) 及び時角  $t$  (正午\*\*\*を零とし、太陽が西に傾くにつれて( $+15^\circ$  /時間) ずつ増えていく)との関係は天文学公式として次式で与えられる。

$$\sin h = \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \cos t \quad (3)$$

なお、(2)式右辺の数値 8.3 は太陽常数と称するもので、大気圏外での実測値。

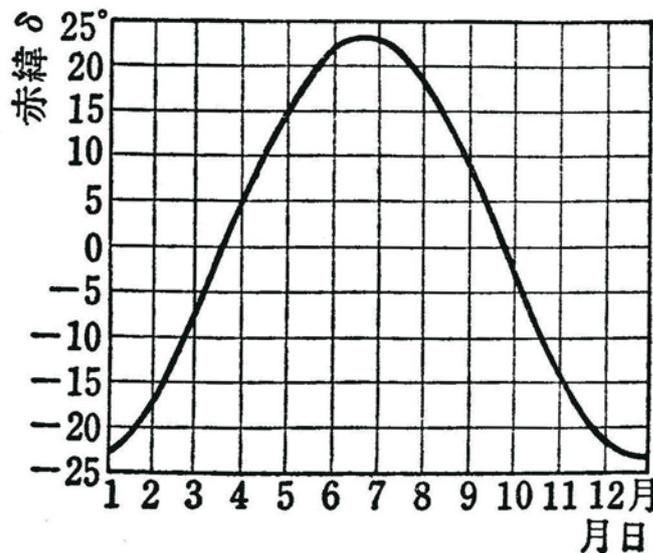


図 1・3 太陽の赤緯 [1・23]

#### 1) $f$ 値を求める

太陽高度、時角は実験開始から 0.5 時間経過ごとに(3)式で求める。そして(1)式左辺の  $J_s$  値はその間の1時間当りの平均値とする。

## 2) 顕熱量 (J/ (cm<sup>2</sup> ×hr;時間) ) を求める

顕熱量 H は次式で与えられる。

$$H/IE = 0.66 \times (\theta_a - \theta_w) / (e_a - e_w) \quad (4)$$

ここに  $\theta_a$ : 気温、 $\theta_w$ : 蒸発計水温。 $e_a$ 、 $e_w$  : 各々大気中の水蒸気圧(日中は未飽和)、水面の飽和水蒸気圧 (hPa) である。これらの水蒸気圧は Tetens の実験式として次式で与えられる。なお、 $\theta_a$ 、 $\theta_g$ 、 $\theta_w$  はいずれも 0.5 時間ごとに求めた値の平均値を採用することに注意。

$$e_a = e_w' - 0.66 \times (\theta_a - \theta_g) \quad (5)$$

$$e_w' = 6.11 \times 10^\alpha \quad \alpha = 7.5 \times \theta_g / (237.3 + \theta_g) \quad (6)$$

$$e_w = 6.11 \times 10^\beta, \quad \beta = 7.5 \times \theta_w / (237.3 + \theta_w) \quad (7)$$

IE が求めれば(4)式で H が求まる。E は時間当りの蒸発量であることに注意。なお、係数 0.66 は  $C_p \times P / (\epsilon \times 1)$  で与えられる。ここに、 $C_p$  : 空気の比熱(1J/(g×°C))、P: 大気圧(約 1,013hPa=760mmHg)、大気圧は物理実験室に備え付けられている水銀気圧計で読み取る。 $\epsilon$  : 水と空気のモル分子量比で 0.622 に等しい。1: 前に出ている(約 2,400J/g)。

## 3) 大気の露点温度 ( $\theta_s$ ) を求めること

大気の水蒸気圧(未飽和)は気温を下げると飽和に達する。そのときの気温を露点温度という。その求め方は、(5)式で求めた水蒸気圧  $e_a$  を(7)式の左辺に  $e_w$  の代わりに入れ、それと等値をもたらす右辺  $\theta_w$  が露点温度  $\theta_s$  である。車内の空気の相対湿度が未飽和でも車内側のフロントガラスに水滴が着く(結露現象という)場合がある。その様なときのガラス面温度を露点温度(dew point temperature)という。

### 8-4. まとめ

蒸発計の減水量が日射量に影響を受けることが理解されたと思う。

蒸発現象(水蒸気の移動)は水蒸気圧の大きい方から小さい方に起ることを理解する。

顕熱移動はどの方向に向いているか?

結露現象と露点温度との関係について考察しなさい。

(備考)

※ 日射量には直達成分と散乱成分とがあり、後者は前者の 1 割程度と小さい。

※※ 赤緯とは、地球の赤道を空に延長した方向を天の赤道といい、赤緯 0 度とする。また、地球の自転軸方向を延長した方向のうち、北半球側を天の北極といい、赤緯を +90 度とする。図 1・3 のように、夏至(6 月 21 か 22 日)のとき、赤緯は +23.5° となる。

※※※ 正確には太陽がその地で南中する時刻を時角 0 度とする。その地の南中時刻  $t_d$  と日本標準時  $T_d$  との関係は次の式で与えられる。

$$t_d = T_d + (L - 135^\circ) / 15^\circ / \text{hr} + e$$

ここで、L: 経度(明石市は東経 135° で名古屋市は 137°、津市は 136.5°)

e: 均時差<sup>※※※※</sup>と呼び、図 1・4 の年変化をする。

※※※※ インターネット等で調べること。

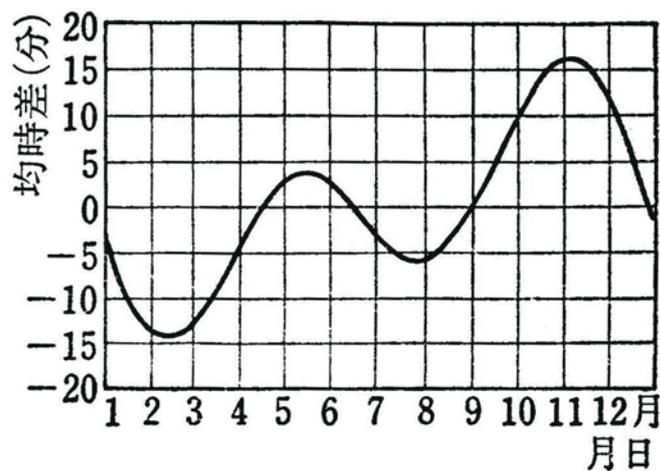


図1・4 均時差  $e$  [1・23]

# 自由実験

- 発表要旨のひな形
- 過去の自由実験課題（1985年～2015年）

## ■ 発表方法

- ・各班全員が発表者になる
- ・班員の役割分担を明瞭にして発表
- ・パワーポイントを使用
- ・発表と質疑応答の持ち時間「20分間／班」
- ・JABEE関連科目
- ・講座の教員・院生・上級生の聴講可

## ■ 評価項目

- ・発表態度(5点満点／人)
- ・報告書の完成度(5点満点／人)
- ・調査の完成度(5点満点／人)
- ・分析の完成度(5点満点／人)
- ・各人の評価点(計20点満点)
- ・各班得点
- ・得点順位



## 土の物理性と植物の根の生長の関係について

氏名（連名）

### 要旨

専門科目の授業において、土を評価する指標が様々にあることを学んだ。本実験では土の物理性の違いが植物の根の生長に与える影響について調べることを目的とした。土は砂（豊浦砂）と粘土（カオリナイト）の割合を変え、物理性を変化させた。イネ科植物であるトウモロコシとマメ科植物であるエンドウの種を用いて発芽から芽がある程度伸びるまで育てて根の生長具合を写真に撮り、全長、根の分岐の数、太さ、表面積等を測定した。

### 1. 実験の目的

植物の根の役割に、土壌中の水分や酸素を吸収する機能がある。土壌中の水分や酸素を根から吸収するとき、土壌環境によって根の形態が変化すると考えられる。具体的には土壌中の水分、酸素の量による根の太さ、長さの変化について考えた。水分、酸素が土壌中に含まれる量が少ないとき、根は土壌と接触する面積を増やすことで吸収する効率を上げると考え、根が細くなり、また多く分岐をすることで土壌と接触する面積を増やすのではないかと仮定した。以下に仮定のまとめを示す。

- 土中の間隙率が少ない(水分、酸素が少ない)ほど、植物根は細くなる。
- 土中の間隙率が少ない(水分、酸素が少ない)ほど、植物根は長くなる。
- 土中の間隙率が少ない(水分、酸素が少ない)ほど、植物根の分岐が増える。
- 固相中の粘土が 0%、5%、10%、とパーセントが増える順に間隙率は小さくなるため、この順に植物の根は細く、分岐が多くなる。

これらの仮定の検討方法として、間隙率の異なる土で植物を育て、全長、根の分岐の数、太さ、表面積等を測定することで間隙率と、どのような関係があるか考察する。この結果から仮定した内容が正しかったかどうかを検討する。間隙率は土中における固相中の砂と粘土の割合を変化させることで、値を変化させることとした。

## 2. 実験の原理と方法

### 1. 物理性の測定原理

$$\text{土粒子密度} \quad \rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{g/cm}^3)$$

なお、今回の実験では文献値として土粒子密度を 2.65 と定めた。

$$\text{湿潤密度} \quad \rho_{soil} = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{間隙率} \quad n = \left( \frac{V}{V_s} - 1 \right) \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{固相率} \quad S_v = \frac{V_s}{V} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{水分率(液相率)} \quad S_l = \frac{V_l}{V} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{空気率(気相率)} \quad S_a = \frac{V_a}{V} \times 100 \quad (\%)$$

砂と粘土を配合した土の質量は 150g、一日目に注水した水の質量を 150g に統一した。

### 2. 全体積の求め方の原理

- ①. ペットボトルの断面積を9mm<sup>2</sup>方眼紙（実験ノート）に写し取った。そのマス数の合計に9mm<sup>2</sup>かけて断面積を求めた。
- ②. 底面から容器上端の高さまでを測った。次に容器上端から土の表面までの高さを4箇所測定し、その平均値を求めた。これらの値の差からペットボトル中の土の高さを求めた。
- ③. ペットボトルの断面積と土の高さをかけることで全体積を求めた。

### 3. 相関係数について

相関係数 R (correlation coefficient) とは、2つの変数の間の相関（類似性の度合い）を示す統計学的指標である。相関係数 R は-1 から 1 の間の実数値をとり、1 に近いときは2つの確率変数には正の相関があるといい、-1 に近ければ負の相関があるという。正の相関にあるとき、二つの変数は比例の関係にあり、負の相関にあるとき、二つの変数は反比例の関係にある。また、0 に近いときは二つの確率変数の相関は弱いことがいえる（Wikipedia. 相関係数 参照）。相関係数は Excel の関数 CORREL を使うことで算定した。

#### 4. 実験装置の説明と手順

- ①. 500ml ペットボトルをおよそ半分に取り、キャップを取り、上部をひっくり返した。飲み口のところに脱脂綿を2枚丸めて詰めた。脱脂綿を2枚、濾紙を1枚、さらにキムワイプを1枚敷いてから土を詰めた。
- ②. 砂（豊浦砂）と粘土（カオリナイト）を合わせて150gになるように入れた。粘土の割合は0%、5%、10%にした。偶然性などに考慮し、各割合に対して3つずつ試料を用意した。マメ科植物であるエンドウの種と、イネ科植物であるトウモロコシの種を用いて根の違いも比較するために、砂と粘土の配合3パターン×サンプル3個×植物2種＝合計18個用意した。
- ③. 対照実験として、土の代わりに水を含ませた脱脂綿の上でも発芽させた。（エンドウ1粒、トウモロコシ1粒）

#### 5. 土の物理性の測定手順

- ①. 装置の重さを測定した。
- ②. 砂と粘土を配合した土を入れた。
- ③. 水を150g加えた。
- ④. 1日後に保水された水を測定するために排水された水を捨て、装置を含めた重さを測定した。
- ⑤. 装置を含めた重さから、装置と配合した土の重さを引くことで、保水された水の質量を求めた。
- ⑥. 測定したデータをもとに、各物理性を求めた。

#### 6. 種まきから根の測定までの手順

- ①. 土の物理性のデータを取り終えたら、各試料に種を2cmくらいの深さに1粒ずつまいた。
- ②. 班員が毎日交替で表面が湿るくらいの水やりを行い、写真などを撮った。芽が出るなどの変化が見られたら、記録をした。
- ③. トウモロコシは6日目、エンドウは8日目に根を切らないように抜いて、土を洗って落とした。
- ④. 根の様子を写真に撮り、植物体の重さ、根の重さを測定した。

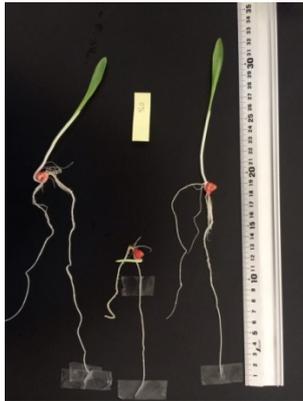


Fig 1 トウモロコシの根の写真



Fig 2 エンドウの根の写真

### 3. 使用器具

500ml ペットボトル	×20 本
トウモロコシの種	×16 粒
エンドウの種	×16 粒
砂 (豊浦砂)	×2565g
粘土 (カオリナイト)	×135g
脱脂綿	×82 枚
ハカリ	×1 台
アルミホイル	適量
シャベル	×1 本
フェルトペン	×1 本
キムワイプ	×1 箱
ものさし	×1 本

ボウル	×1 つ
はさみ	×4 つ
段ボール箱	×2 箱
方眼紙 (実験ノート)	×3 枚
温度計	×1 つ
セロハンテープ	×1 つ
ガムテープ	×1 つ
ゴミ袋	×2 枚
蒸発皿	×3 枚
1000ml メスシリンダー	×1 つ

### 4. 実験結果

実験によって得たデータを以下に示す。

**Table 1 実験時の水温と水の密度**

	一日目	二日目
水温(°C)	21	21
水の密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.999022	0.999022

**Table 2 ペットボトルの断面積**

測定回数	ペットボトル①の断面	ペットボトル②の断面
	積 (mm <sup>2</sup> )	積 (mm <sup>2</sup> )
1	3259.0	3229.2
2	3187.8	3392.1
3	3275.1	3242.7
平均	3240.6	3288.0

**Table 3 実験の測定データ(1)**

種名	カオリナイト含有量(%)	番号	容器の質量(g)	容器の断面積(cm <sup>2</sup> )	体積(cm <sup>3</sup> )	二日目に測定した水の質量(g)	二日目に測定した水の体積(cm <sup>3</sup> )
エンドウ	0	1	29.7	32.41	113.42	73.1	73.2
		2	31.4	32.88	123.30	71.2	71.3
		3	30	32.41	114.23	71.8	71.9
トウモロコシ	0	1	28.5	32.41	98.84	67.4	67.5
		2	30.4	32.41	106.13	71.9	72.0
		3	29.8	32.41	107.75	72.5	72.6
エンドウ	5	1	30	32.88	108.50	65.8	65.9
		2	33.5	32.88	104.39	68.3	68.4
		3	29.3	32.88	107.68	67.9	68.0
トウモロコシ	5	1	29.5	32.88	103.57	65.5	65.6
		2	32.1	32.88	103.57	70.5	70.6
		3	30.3	32.88	120.83	71.9	72.0
エンドウ	10	1	29.3	32.41	93.17	72.9	73.0
		2	31.4	32.88	110.15	73.3	73.4
		3	28.8	32.41	108.56	66.4	66.5
トウモロコシ	10	1	29.4	32.88	104.39	68.1	68.2
		2	30.6	32.88	99.46	65.1	65.2
		3	30.7	32.88	128.23	67.9	68.0
エンドウ	脱脂綿	1	29.6	32.88	ND	39.9	39.9
トウモロコシ	脱脂綿	1	30	32.41	ND	38.8	38.8

Table 4 実験の測定データ(2)

種名	カオリナイト含有量(%)	番号	気相率(%)	水分率(%)	固相率(%)	湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	間隙率(%)	間隙比	含水比(%)
エンドウ	0	1	15.9	34.2	49.9	2.0	50.1	1.0	25.8
		2	24.2	29.9	45.9	1.8	54.1	1.2	24.5
		3	17.7	32.8	49.6	1.9	50.4	1.0	24.9
トウモロコシ	0	1	9.3	33.4	57.3	2.2	42.7	0.7	22.0
		2	11.3	35.4	53.3	2.1	46.7	0.9	25.0
		3	12.1	35.4	52.5	2.1	47.5	0.9	25.4
エンドウ	5	1	18.9	29.0	52.2	2.0	47.8	0.9	20.9
		2	13.3	32.5	54.2	2.1	45.8	0.8	22.6
		3	16.3	31.1	52.6	2.0	47.4	0.9	22.3
トウモロコシ	5	1	15.3	30.1	54.7	2.1	45.3	0.8	20.7
		2	10.5	34.9	54.7	2.1	45.3	0.8	24.1
		3	22.1	31.1	46.8	1.8	53.2	1.1	25.0
エンドウ	10	1	-2.1	41.4	60.8	2.4	39.2	0.6	25.7
		2	13.3	35.4	51.4	2.0	48.6	0.9	25.9
		3	18.4	29.5	52.1	2.0	47.9	0.9	21.3
トウモロコシ	10	1	13.5	32.3	54.2	2.1	45.8	0.8	22.5
		2	12.2	30.9	56.9	2.2	43.1	0.8	20.5
		3	29.7	26.2	44.1	1.7	55.9	1.3	22.3
エンドウ	脱脂綿	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
トウモロコシ	脱脂綿	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Table 5 エンドウ、トウモロコシ根の各パラメータのデータ

種名	カオリナイト含有量(%)	番号	間隙率(%)	根の全長(mm)	一次根の太さ(mm)	二次根の太さ(mm)	根の次数	根(g)	一次根の根数(本)	二次根の根数(本)	合計根数(本)	表面積(mm <sup>2</sup> )
エンドウ	0	1	50.1	112.9	1.1	0.8	2	0.3	3	7	10	735.4
		2	54.1	100.8	2.3	0.8	3	0.5	1	11	13	1047.9
		3	50.4	34.0	2.5	0.6	2	0.3	1	7	8	452.0
トウモロコシ	0	1	42.7	165.6	1.7	0.6	2	0.4	2	9	11	1591.8
		2	46.7	132.9	1.9	0.6	2	0.2	2	5	7	1377.6
		3	47.5	212.8	1.4	0.8	2	0.7	2	10	12	1858.6
エンドウ	5	1	47.8	135.8	1.9	0.4	2	0.4	3	8	11	1166.7
		2	45.8	6.7	1.7	0.0	1	0.1	1	0	1	36.6
		3	47.4	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0.0
トウモロコシ	5	1	45.3	141.3	1.4	0.5	2	0.4	3	16	19	1397.5
		2	45.3	66.2	1.3	0.6	2	0.1	2	7	9	357.1
		3	53.2	209.9	1.0	0.2	1	0.4	3	9	12	924.1
エンドウ	10	1	39.2	145.2	1.3	0.6	3	0.6	1	18	19	1067.2
		2	48.6	40.2	1.3	0.6	2	0.1	1	3	4	22.0
		3	47.9	127.2	1.2	0.4	2	0.4	1	8	9	743.4
トウモロコシ	10	1	45.8	140.4	1.4	0.8	2	0.3	3	17	20	1123.7
		2	43.1	185.6	1.1	0.9	2	0.4	1	15	16	1483.4
		3	55.9	252.0	1.9	1.2	2	0.6	2	11	13	2659.9
エンドウ	脱脂綿	1		56.5	1.4	0.7	2	0.3	1	5	6	424.7
トウモロコシ	脱脂綿	1		83.4	0.6		1	0.1	1	4	5	149.4

Table 6 各パラメータの相関係数 R

	間隙率(%)	根の全長(mm)	一次根の太さ(mm)	二次根の太さ(mm)	根の次数	根の重さ(g)	一次根の根数(本)	二次根の根数(本)	合計根数(本)	表面積(mm <sup>2</sup> )
間隙率(%)		0.127	0.266	0.206	-0.111	0.105	0.131	-0.257	-0.199	0.134
根の全長(mm)			0.111	0.594	0.335	0.803	0.517	0.637	0.671	0.902
一次根の太さ(mm)				0.381	0.595	0.342	0.132	0.136	0.163	0.315
二次根の太さ(mm)					0.683	0.572	0.230	0.560	0.564	0.685
根の次数						0.585	0.143	0.629	0.622	0.396
根の重さ(g)							0.253	0.688	0.686	0.788
一次根の根数(本)								0.366	0.496	0.406
二次根の根数(本)									0.989	0.592
合計根数(本)										0.615
表面積(mm <sup>2</sup> )										

マスの色がついている部分が相関係数 R が 0.6 以上になったデータを示している。

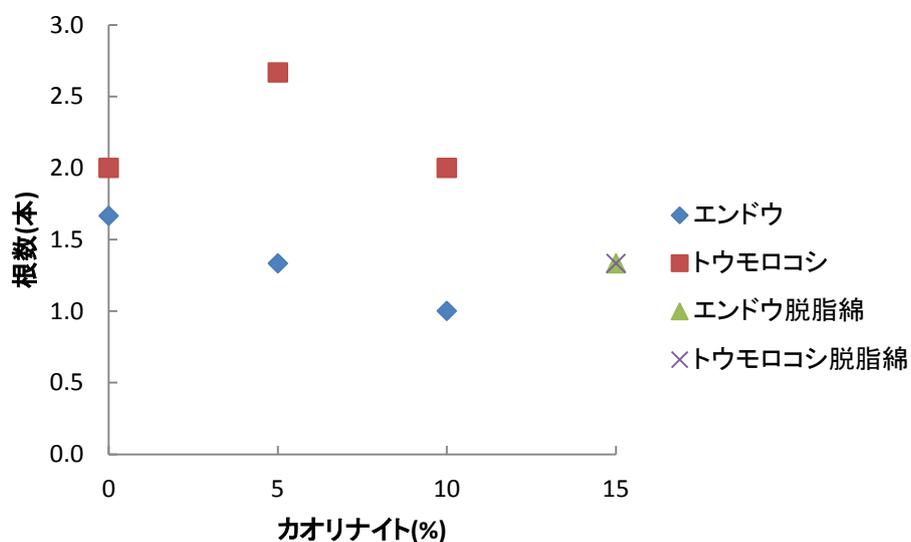


Fig 3 一次根の根数(平均値)とカオリナイト含有量の関係を示したグラフ

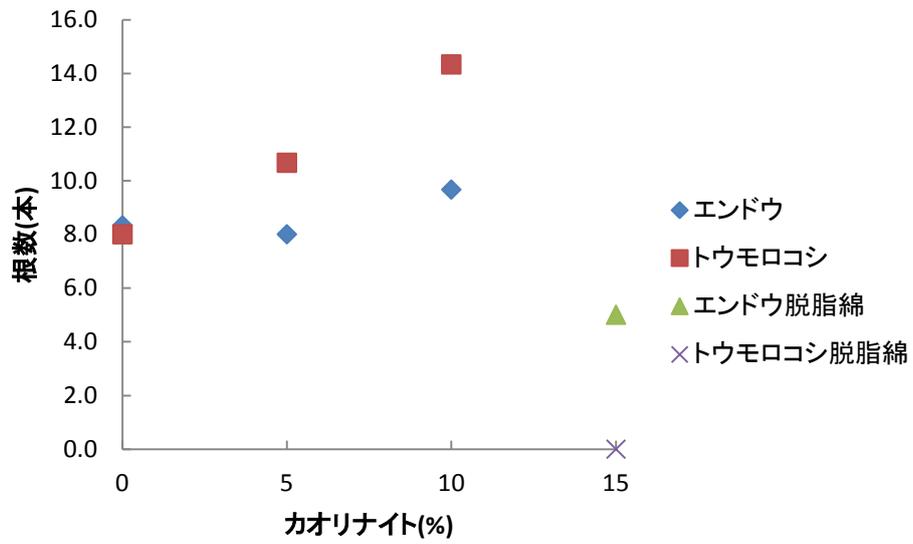


Fig 4 二次根の根数(平均値)とカオリナイト含有量の関係を示したグラフ

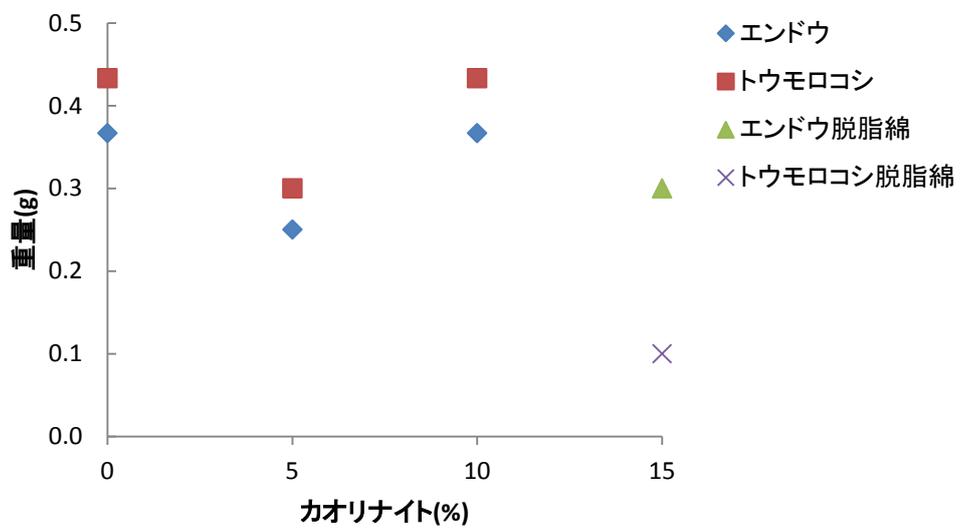


Fig 5 根の重さ(平均値)とカオリナイト含有量の関係を示したグラフ

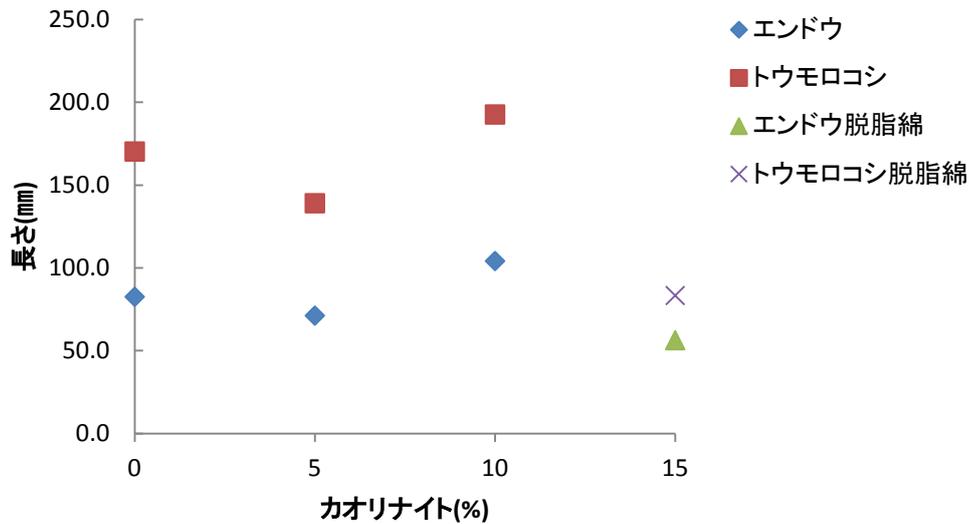


Fig 6 根の全長(平均値)とカオリナイト含有量の関係を示したグラフ

## 5. 考察

Table.6 の各パラメータの相関関係 R から、各パラメータの関係性について考察する。

間隙率に注目すると、根の次数と二次根の根数に対して負の相関があるため、反比例の関係にあることが読み取れる。このため間隙率が増加すると、根の次数及び二次根の根数は減少する関係にあると考えられる。また間隙率と一次根、二次根の太さの関係から、間隙率が増加するほど一次根、二次根の太さが増加することが分かる。この結果から仮定していた土中の酸素量が少ないほど根が多く分岐し、根の太さが細くなることの関係性と一致していると考えた。しかし、相関係数において 0 に近いほど相関が弱いいため、この実験結果のみでは、この仮定したことを証明するには不十分であるといえる。

次に根の全長について注目すると、根の表面積と高い相関性があることが読み取れる。これらは正の相関で比例関係にあるため、根の全長が長くなるほど表面積が大きくなることはいえる。表面積が増えるほど、根の水分や酸素の吸収効率が上がることを推測できるため、上記の関係から土中の水分、酸素の量が少ないとき、根の全長が長くなることで吸収効率を上げていることがいえるのではないかと考察した。

Fig.6 の根の全長と Fig.5 の根の重さのグラフのから 0%と 10%の関係を見ると 10%の方が、根が伸びていることが分かるが、根の重さについて見ると 0%と 10%が同程度であることが読み取れる。この結果から、0%の方の根が太いと考えられる。

Fig.4 の二次根の根数のグラフを見ると、カオリナイトの割合が大きくなるにつれて根数が大きくなっている。この結果から、間隙率が小さくなるにつれて分岐が増えるということが確認できた。

## 6. 応用・アイデア

今回ペットボトルの側面が一定でないものを用いたため、体積が概算になってしまい正確な物理量が測定できていない。炭酸飲料などのペットボトルにするなど、体積が一定になるものを用いる必要がある。

粘土の割合を 0%、5%、10%変化させただけでは間隙率に大きな変化は見られなかった。間隙率に大きな変化が与えられるよう、土の種類を変化させる、同じ土であっても土を詰める密度を変えるなどしてみるともっと大きな変化を見ることができたかもしれない。

## 7. 参考文献

- ・作物の根系と土壌，スコット・ラッセル著，田中典之訳，初版発行：昭和 56 年 10 月 15 日，発行所：農山漁村文化協会
- ・根のデザイン，森田茂紀著，初版発行：2003 年 11 月 25 日，発行所：養賢堂  
野菜園芸大百科 5 ナス・ピーマン・生食用トウモロコシ・オクラ，農文協編，初版発行：1989 年 3 月 5 日，発行所：農山漁村文化協会
- ・野菜園芸大百科 6 カボチャ・エンドウ・インゲン・ソラマメ・エダマメ・その他のマメ類，農文協編，初版発行：1989 年 3 月 30 日，発行所：農山漁村文化協会
- ・農地環境工学，山路永司，塩沢昌編，初版発行：2008 年 10 月 25 日，発行所：文永堂出版株式会社
- ・根表面積と根径の推定方法，岩間和人：2014
- ・相関係数 Wikipedia，

[https://www.google.co.jp/?gfe\\_rd=cr&ei=RkLOU-fjIYqT8QeK7YDwDQ&gws\\_rd=ssl#q=%E7%9B%B8%E9%96%A2%E4%BF%82%E6%95%B0+%E6%84%8F%E5%91%B3](https://www.google.co.jp/?gfe_rd=cr&ei=RkLOU-fjIYqT8QeK7YDwDQ&gws_rd=ssl#q=%E7%9B%B8%E9%96%A2%E4%BF%82%E6%95%B0+%E6%84%8F%E5%91%B3)

## 8. 感想

植物を扱うのは難しかった。発芽しないものが混ざっていたり、発芽しても思うように生長しなかったり、個体差が大きいと感じた。根を土から抜いて洗う作業がとりわけ大変だった。キムワイプを貫通したり、脱脂綿の中に入り込もうとしたりしていた。植物の生命力を感じた。データもばらつきが多く、考察が難しかった。また装置が手作りだったので、土の物理性を測るのが大変だった。実験をするには事前の下調べをもっときちんとするべきだと思った。

## 鉄イオン(Ⅱ)および鹿沼土が与えるリン酸濃度への影響

氏名 (連名)

### 要旨

本実験は、二価鉄イオン、鹿沼土によるリン酸の除去、COD への影響を検証した。水質の評価に COD(Chemical Oxygen Demand)という指標がある。鹿沼土にリン酸濃度を減少させる効果があることは報告されている<sup>1,2,3,4)</sup>。しかし COD を低下させる効果は期待できないと考え、鹿沼土に炭素粉末を混ぜたものを人工ヘドロに入れることでリン酸濃度および COD に与える影響を検証した。リン酸吸収係数の大きい鹿沼土を入れた場合の方がリン酸除去効果は顕著であったが COD の劇的な低下は見られなかった。鹿沼土と炭素粉末を混合したものを入れた場合、リン酸除去効果、COD の低下に効果があった。

### 1. はじめに

富栄養化の原因物質にリン、窒素などが挙げられる。河川、湖沼にはある程度の自然浄化機能が備わっているものの、生活排水や工業廃水による負荷により自然浄化機能では補いきれなくなっている。その結果、河川の流化先の湖沼や内湾でアオコが発生する。アオコにはミクロシスティンやアノキシンなど毒を含んだものがあり、生態系や景観に与える影響は甚大なものである。またアオコは窒素、リンなどの栄養塩や気温上昇、日射量などが相互に影響し合って増殖することが知られている。

そこで我々は栄養塩の 1 つであるリン酸の濃度を減少させればアオコの増殖は抑えられるのではないかと考えた。リン酸は金属と反応し、不溶性の塩を作る。金属の中でも比較的安価で安全な鉄(二価鉄)を用いてリン酸濃度の減少を試みた。また土壌におけるリン酸固定にも注目し、土壌によるリン酸濃度の減少を試みた。本実験ではリン酸吸収係数が大きい (Table 1) 鹿沼土を用いた。同時に炭素粉末を利用することで COD の改善も試みた。

### 2. 原理と方法

#### 2. 1 方法(人工ヘドロの作成)

- (1)米のとぎ汁(3回研いだもの)を 2L ペットボトル一杯に入れ、これを 2 本作成した。
- (2)(1)で作成したものを 26~28℃の室温で 2 週間放置した。
- (3)豊浦砂を 500ml ペットボトルに 80ml、発酵した米のとぎ汁を 155ml 入れ、人工ヘドロとした。

## 2. 2 原理(鉄と炭)

イオンとして存在するリン酸イオン  $\text{PO}_4^{3-}$  は鉄、リチウム、ナトリウム、マグネシウム、カルシウムなどと結合し不溶の塩を作る。本実験では、比較的安価で安全な金属である鉄を用いた。鉄は常温で水と反応しないため、炭と鉄を密着させて鉄イオンを析出させた。これは鉄と炭のイオン化傾向の差を利用したものである。

### 2. 2. 1 方法(鉄と炭)

- (1)鉄釘をガスバーナーで熱し、表面の被覆を取り軟鉄の状態にした。
- (2)炭を同じ大きさになるように砕き、その表面に釘をタコ糸を用いて巻きつけた。
- (3)巻きつける釘は1本、5本、10本とした。
- (4)(3)でできたものを人工ヘドロに入れ、24時間間隔で2日間(48時間)測定した。測定項目はリン酸濃度,二価鉄濃度,COD<sup>\*</sup>,水温,pHとした。

## 2. 3 原理(鹿沼土)

鹿沼土は火山灰土由来の土であり、アロフェン(活性アルミニウム)、鉄、ケイ素を主成分とする。リン酸固定強さは、カルシウム $\ll$ アルミニウム $<$ 鉄である。赤玉土も同様な性質を持ち鹿沼土よりもリン酸固定はしやすい(Table1 参照)。本実験では鹿沼土によるリン酸固定を目的とし、24時間間隔で2日間測定しリン酸濃度の推移を測定した。

### 2. 3. 1 方法(鹿沼土)

- (1)未処理の鹿沼土を粉末状になるまで小さく砕いた。
- (2)ふるいにかけてなるべく同じ粒径の鹿沼土を用いた。
- (3)鹿沼土をとき汁の質量(155g<sup>\*</sup>)に対して0.1%,1%,10%になるようそれぞれハカリで測定し人工ヘドロに入れ攪拌した。

※米のとき汁は水の密度と同じとし、155mlを質量へ変換している。

- (4)24時間間隔で2日間(48時間)測定した。測定項目はリン酸濃度,二価鉄濃度,COD,水温,pHとした。

## 2. 4 原理(鹿沼土+炭)

鹿沼土にはリン酸濃度の減少に大きな効果があるが、COD<sup>\*</sup>に対しては効果が少ない。そこでCOD<sup>\*</sup>に対して効果が期待できる炭を鹿沼土に混ぜることでリン酸除去とCODの低下を試みる。

### 2. 4. 1 方法(鹿沼土+炭)

- (1)鹿沼土の処理は2.3.1と同様にした。
- (2)炭をなるべく粉末状になるまで砕いた。
- (3)鹿沼土と炭の割合を1:1,2:1,1:2に設定し、作成した混合試料を米のとき汁の質量に対して0.1%,1%,10%になるようにハカリで測定した。1:1の比率の試料に対して0.1%,1%,10%の3パターン作ったため、鹿沼土+炭は合計9パターン作成した。

(4)24時間間隔で2日間(48時間)測定した。測定項目はリン酸濃度,二価鉄濃度,COD<sup>※</sup>,水温,pHとした。以下鹿沼土+炭を混合試料とする。

※測定したCODは人工ヘドロ内の米のとぎ汁を175倍希釈して測定した。

### 3. 使用器具

- |                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| ・ パックテスト(リン酸濃度,低濃度,流域保全学研究室)    | ×5袋   |
| ・ パックテスト(リン酸濃度,高濃度,流域保全学研究室)    | ×5袋   |
| ・ パックテスト(COD,低濃度,流域保全,水資源工学研究室) | ×5袋   |
| ・ パックテスト(二価鉄濃度,流域保全学研究室)        | ×5袋   |
| ・ pHメーター(水資源工学研究室)              | ×1個   |
| ・ 温度計(水理実験室)                    | ×1個   |
| ・ 500ml ペットボトル                  | ×16本  |
| ・ 米のとぎ汁(コシヒカリ,愛知のかおり)           | ×4L   |
| ・ 豊浦砂(環境施設工学研究室)                | ×100g |
| ・ 鹿沼土(3班)                       | ×100g |
| ・ イオン交換水 500ml(流域保全学、水資源工学研究室)  | ×5個   |
| ・ 500ml メスシリンダー(水理実験室)          | ×1個   |
| ・ ふるい(水理実験室)                    | ×1個   |
| ・ ハカリ(水理実験室)                    | ×1個   |

### 4. 結果

人工ヘドロ内に何も入れない場合

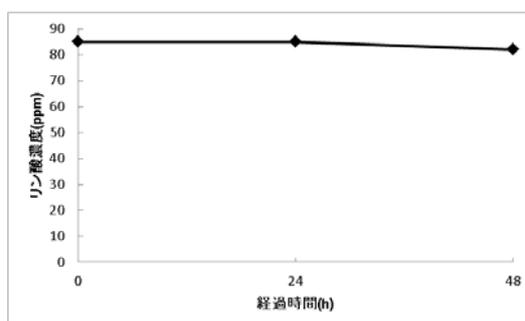


Fig. 1 リン酸濃度推移

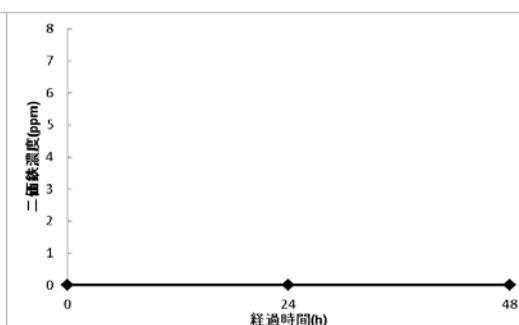


Fig.2 二価鉄推移

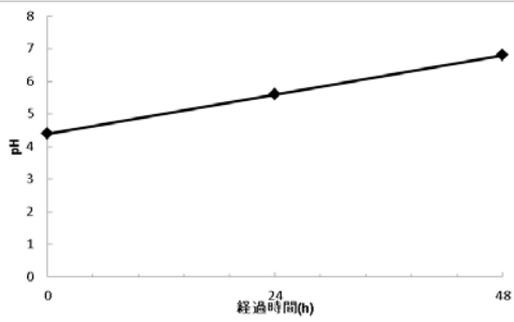


Fig.3 pH 推移

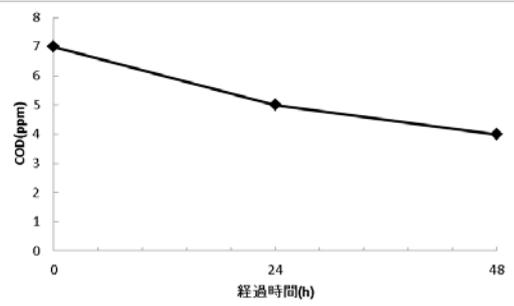


Fig.4 COD 推移

鉄釘と炭を入れた場合

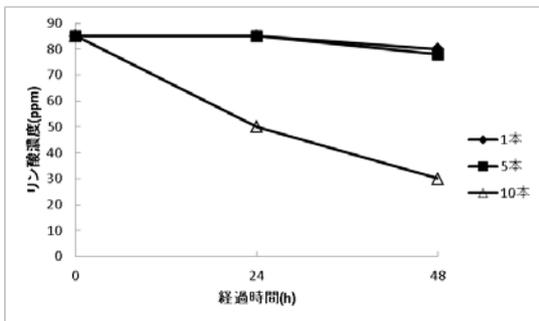


Fig.5 リン酸濃度推移

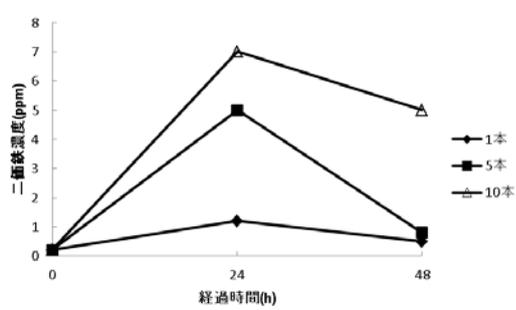


Fig.6 二価鉄濃度推移

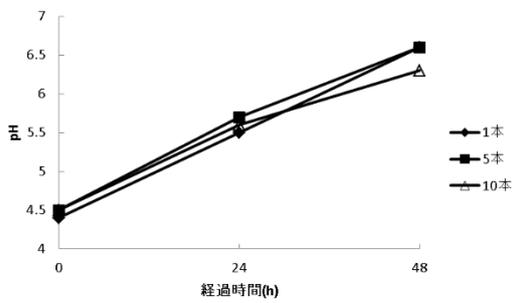


Fig.7 pH 推移

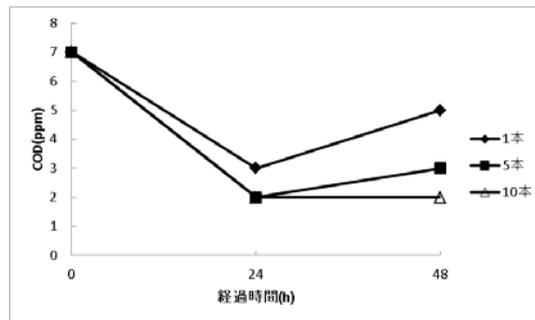


Fig.8 COD 推移

鹿沼土を入れた場合

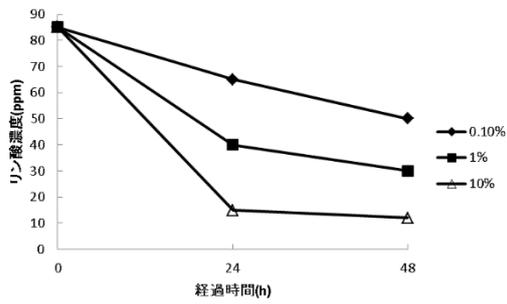


Fig.9 リン酸濃度推移

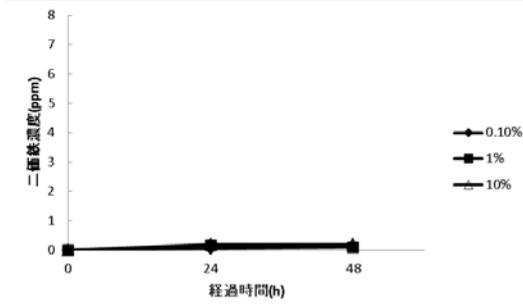


Fig.10 二価鉄濃度推移

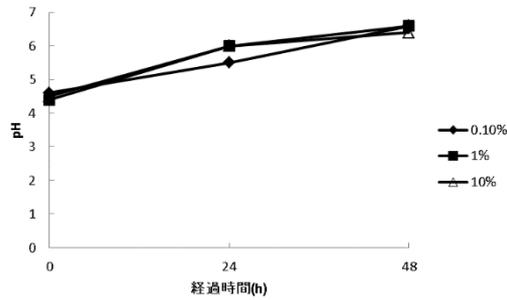


Fig.11 pH 推移

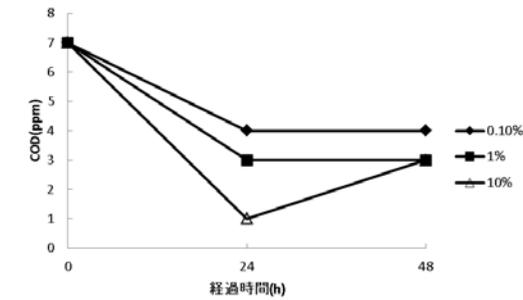


Fig.12 COD 推移

鹿沼土：炭=1：1

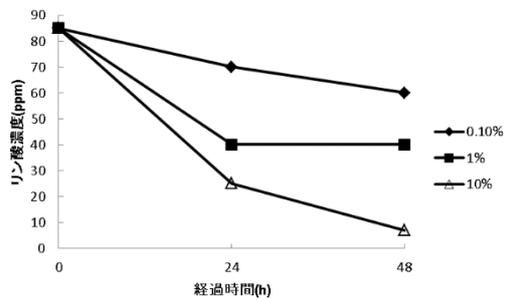


Fig.13 リン酸濃度推移

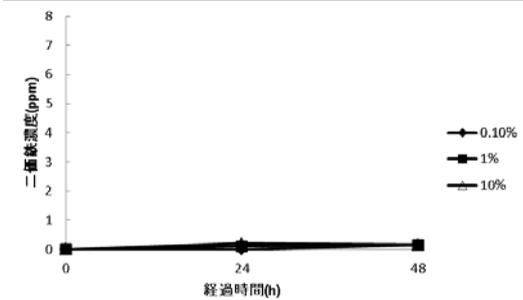


Fig.14 二価鉄濃度推移

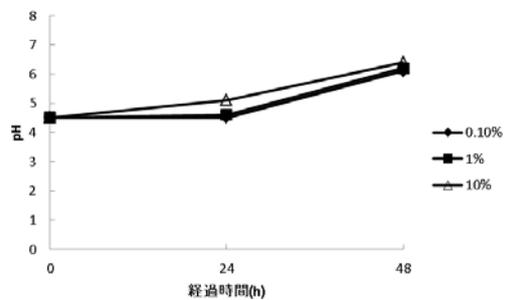


Fig.15 pH 推移

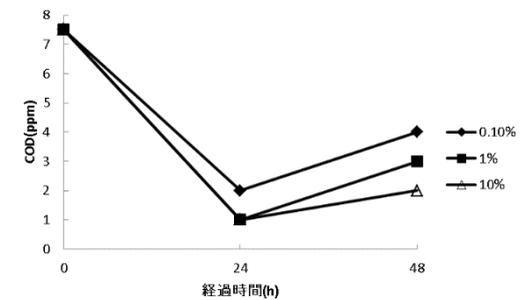


Fig.16 COD 推移

鹿沼土：炭=2：1

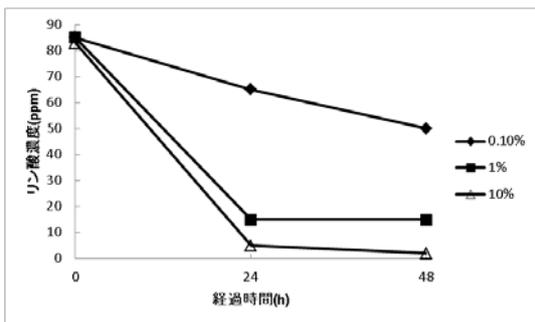


Fig.17 リン酸濃度推移

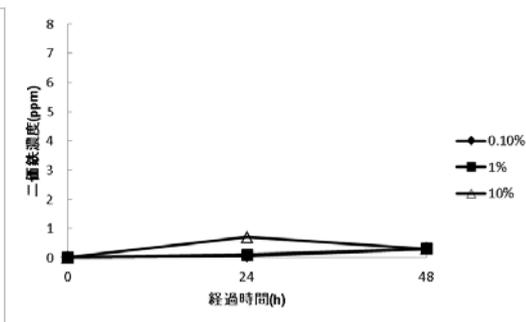


Fig.18 二価鉄濃度推移

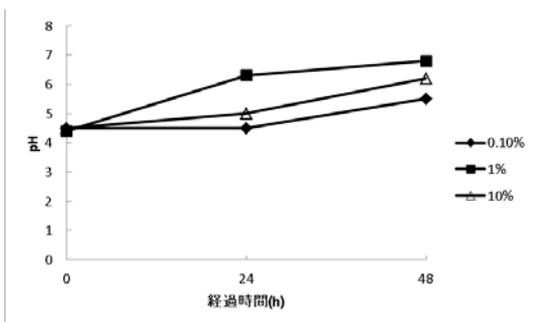


Fig.19 pH 推移

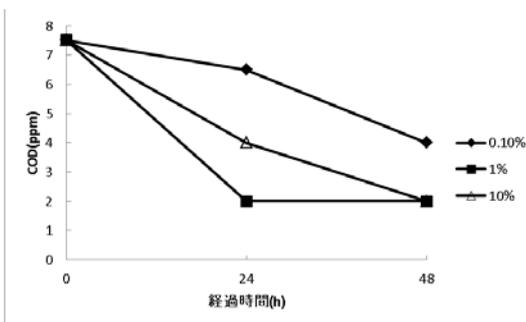


Fig.20 COD 推移

鹿沼土：炭=1：2

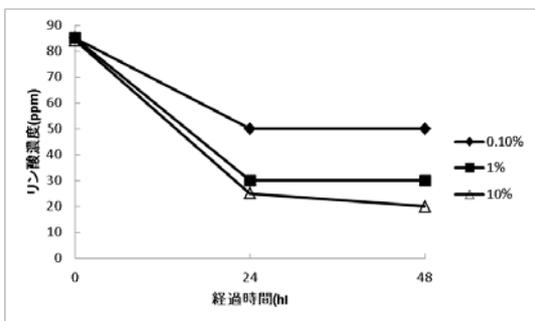


Fig.21 リン酸濃度推移

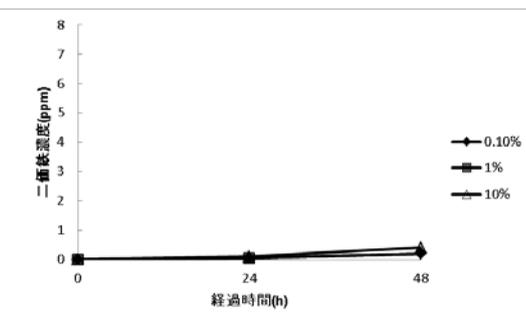


Fig.22 二価鉄濃度推移

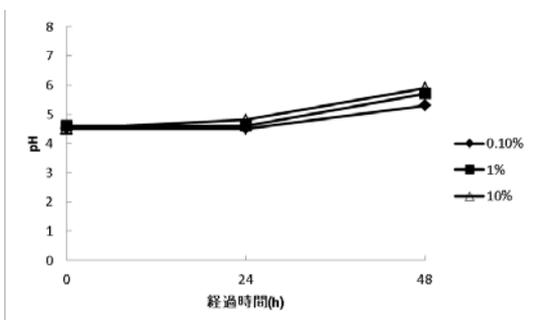


Fig.23 pH 推移

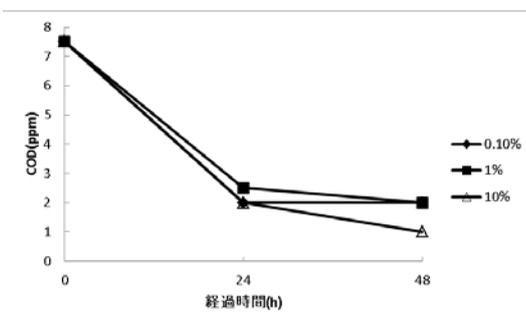


Fig.24 COD 推移

## 5. 考察

## 5. 1 人工ヘドロ内に何も入れない場合

人工ヘドロ内に何も入れなかった場合、リン酸濃度、二価鉄濃度はほぼ横ばいになったが、pHは弱酸性から中性へと推移している。またCODはやや減少していることがわかる。これは、微生物が有機物を分解しているためと考えられる。微生物の増殖に大きく影響を与える因子にpHがあり、大多数の微生物が増殖するための最適pHは7~8である。CODの減少とともにpHは7あたりに近づいている。つまり時間の経過とともに微生物の増殖に最適な環境に近づいていたと考えられる。微生物の増殖は誘導期、対数増殖期、定常期、内生期の順に起こり、いずれ微生物による作用は初期に比べて小さくなる。このことからさらに経過を観察した場合、CODは減少する可能性がある。そして微生物が減衰するにつれ微生物による有機物の分解が行えなくなり、CODはある値で安定すると推察できる。

## 5. 2 鉄釘を入れた場合

鉄イオンによるリン酸の除去を試みた結果、釘の本数が1本,5本の場合ではリン酸濃度に目立った変化は見られず、10本の場合は85ppmから30ppmへと大きく減少していることがわかった。釘が1本,5本の場合、本実験方法ではリン酸イオンと結合して塩になるための二価鉄イオン析出量が少なかったと考えられる。そのためリン酸濃度に目立った変化が見られなかったと考えられる。

鉄イオン濃度はどの本数の場合でも、24時間後にピークを迎え、以降減少している。24時間後、リン酸と結合しリン酸鉄となる速度が、鉄イオンが析出する速度を上回った、もしくは鉄イオンの析出は止まっておりリン酸イオンと結合している最中だと考えられる。

CODは1本,5本の場合一度2~3ppmまで減少しているが48時間後にはそれぞれ1程度増加している。10本の場合は2ppmまで減少し、その後一定となっている。1本,5本の場合、リン酸濃度がほぼ85ppmで一定値であることから植物プランクトンの発生が考えられる。植物プランクトンは窒素やリンを栄養にして増殖する。10本の場合リン酸濃度は30ppmまで激減し植物プランクトンが増殖できる環境でなかったため、10本の場合のCODだけが横ばいとなっていると考えられる。

## 5. 3 鹿沼土を入れた場合

リン酸濃度は0.1%,1%,10%すべての場合で減少しており、特に10%の場合のリン酸濃度の減少が顕著であった。これは鈴木ら<sup>1)</sup>の報告と同じ傾向を示し、予想した通りの結果であった。これはリン酸固定によるものであると推察される。リン酸は土中のアロフェンや鉄と結合し難溶性の塩を形成する。鹿沼土は火山灰土由来の土であるため、ケイ素、アロフェン、鉄を多く含む。またリン酸固定は鉄、アルミニウム、カルシウムの順に強いことが知られている(ホクレンの肥料

[http://www.hiryuu.hokuren.or.jp/qa/q02\\_05\\_01.html](http://www.hiryuu.hokuren.or.jp/qa/q02_05_01.html))。つまりリン酸が鹿沼土中の鉄、アロフェンと結合し難溶性の塩を形成しリン酸濃度が大きく減少したと考えられる。pHはおよそ4.5から7付近まで上昇しており、リン酸濃度が減少していく傾きはゆるやかにな

っている。つまりリン酸固定が pH の上昇とともに小さくなっていることがわかる。これは pH3~4 でリン酸固定が最大になり、pH が小さくなるにつれリン酸固定が小さくなるためである。

COD は 7ppm から 3~4ppm に減少しているが、人工ヘドロ内に何も入れなかった場合も同様に 4ppm まで減少していたため鹿沼土に COD の減少を期待することは難しいと考えられる。また、10% の場合 COD は一度減少した後再び増加している。これは、人工ヘドロ内の酸素が時間とともに減少し、微生物による有機物分解作用が小さくなっていた、もしくは微生物の死骸が有機物として水中に出てきたと考えられる。

#### 5. 4 鹿沼土と炭素粉末を混合させた場合

鹿沼土と炭素粉末を 1:1 の割合で混ぜたものを入れた場合、リン酸濃度の推移は鹿沼土のみを入れた場合と同じ傾向を示した。

10% の場合のみ、COD は鹿沼土のみを入れた場合に比べて大きく減少していた。つまり炭素粉末に COD を減少させる効果があることが推察される。炭は多孔質であり、ろ過機能、吸着機能を有する。これらが COD の減少に大きく寄与していると考えられる。また、鹿沼土のみを入れた場合と同様に一度減少した後増加している。炭による COD を減少させる機能よりも微生物の死骸等の有機物による影響が上回っていると考えられる。

鹿沼土と炭素粉末を 2:1 の割合で混ぜたものを入れた場合、リン酸濃度の減少量は他の試行の中でも最大となった。鹿沼土だけの場合に比べて、含まれる鹿沼土の量は少ないが炭による吸着と組み合わせることでこのような結果になったと考えられる。

COD は 1%,10% の場合に 7.5ppm から 2ppm へと減少しており炭は COD の減少にも効果があると言える。

鹿沼土と炭素粉末を 1:2 の割合で混ぜたものを入れた場合、リン酸濃度、COD ともに減少している。COD は 1ppm まで減少しており、炭素粉末を多めに入れることで COD の改善を期待できる。

また、すべての場合に関して COD,リン酸濃度はパックテストを用いたため COD,リン酸の挙動には誤差による可能性も十分あるはずである。

#### 5. 5 鉄バクテリアの検出

鉄釘 10 本と炭を入れたサンプルの中には Fig.25 に示すように、表面に油のようなものが浮いていることが確認できた。これは油ではなく鉄バクテリアがつくる被膜である。沖縄の衛生環境研究所によると、「鉄バクテリアは二価の鉄イオンを酸化して得られるエネルギーを使って、炭酸同化という生命活動を行う化学合成栄養細菌で、土壤中に広く生息している。そのため、鉄分を多く含む赤土な



Fig. 25 鉄バクテリアの皮膜

どにできた水たまりや湖、その一帯を流れる河川でよくこの被膜を見ることができる。」としている。また同研究所によれば鉄バクテリアや皮膜は自然界に存在する程度であれば環境上問題はないとしている。鉄バクテリアは三価の鉄イオンにより水酸化鉄の殻を形成する。さらにこの水酸化鉄(III)は難溶性物質であるため、一度この形態をつくと再び電離することは難しく、好気性で二価鉄は容易に酸化され三価の鉄イオンになる。つまり曝気などをして好気状態を作り出す場合、二価の鉄イオンは三価の鉄イオンとなり、リン酸と結合する前に水と結合してしまう。

したがって好気環境下では二価の鉄イオンによるリン酸の除去への大きな効果は期待できないのではないと考えられる。ちなみに本実験ではリン酸の除去に大きく影響を与えていたことから、嫌気環境下にあったと考えられる。

## 5.6 全試行のまとめ

本実験のすべての場合を考えたとき、リン酸濃度の除去とCODの低下に効果があると考えられるのは鹿沼土と炭素粉末を混ぜた場合であると考えられる。鹿沼土と炭素粉末の最適割合は断定することができない。以上の結果からは、リン酸濃度の除去に重きを置く場合は鹿沼土と炭素粉末を2:1に、CODの低下に重きを置く場合は鹿沼土と炭素粉末を1:2にするのがよい、しか言えない。本実験では比率を3種類しか行わなかったため、鹿沼土と炭素粉末をどの程度混ぜたとき最適の効果が得られるかが特定できなかった。しかし、鹿沼土と炭素粉末を混ぜることで、鹿沼土単体を用いた場合に比べてリン酸除去やCOD低下への効果が上がったことを示すことができたように思う。

本実験のように混合試料を水面にまくだけであればよいが、土壌浸透処理を行う際に鹿沼土や炭を用いる場合は十分注意が必要である。鹿沼土は透水係数が小さく保水性に富むが、水の浸透が遅れるため結果的に処理に時間がかかることになる。また炭素粉末が間隙をふさいでしまう可能性もあり、同様に浸透に影響が出ると考えられる。

**Table 1** 各資材におけるリン酸吸収係数

資材名	単価(円/kg)	リン酸吸収係数*
活性炭	600	15
鹿沼土	150	2376
赤玉土	130	2506
珪酸塩白土	450	1752

出典：鈴木ら(2006：182)表1

※2.5%リン酸アンモニウム液に24時間浸漬後、バナドモリブデン酸比色法により測定。

## 6. 応用, アイディア

今回用いた鹿沼土は未処理のものを用いた。柳田ら<sup>2,3)</sup>の報告によれば焼成することでリン酸吸収係数は増加するとされている。加熱に伴うアロフェンの化学構造の変化の研究<sup>4)</sup>によれば 400°Cに加熱した時アロフェンの骨格構造を形成する Si-O-Al 結合が切断され、H<sub>2</sub>O-Al-OH 基が生じ、リン酸吸着部位が新しく出現する(柳田,江 1994)。このためにリン酸吸収係数は増加すると考えられる。よって、焼成した鹿沼土を用いた実験を行うことでさらなるリン酸濃度の低下がみられると考えられる。

## 7. 感想

実験の大筋を決めてから、予備実験に多くの時間を使ってしまい測定期間が短くなってしまったことが大いに悔やまれる。また、文献調査をすればするほど様々なアイデアが出て、行いたい実験がまだまだ多くあった。突き詰めれば突き詰めるほど、深みにはまってしまい本来の実験の目的を忘れそうになることがあったが、班員で何度も整理することで実験をスムーズに行うことができた。また、本実験は非常に多くのパックテストを消費し、追加のパックテストを買っていただいた。また、実験場所も貸していただいた。実験をするのにもお金や場所が必要となることがよくわかった。本実験でお世話になった先生方に感謝を申し上げたい。

## 8. 参考文献

- 1) 鈴木良地・増田達明・中谷洋・勝野伸吾・近藤一：畜産浄化槽処理水に対する各種資材の吸着力調査,愛知農総試研報,38,181~185(2006)
- 2) 柳田友隆・江 耀宗：火山灰土壌のリン酸吸収係数におよぼす焼成温度および添加物の影響,日本土壌肥科学雑誌,65(2),171~174(1994)
- 3) 江 耀宗・柳田友隆・和田秀徳・三谷知世：加熱土壌のリン吸着特性,水環境学会誌,Vol.27,No.2,103~108(2004)
- 4) 和田桂子・岸本直之・宗宮 功・佐藤寿彦・津野 洋：土壌浸透処理による赤玉土のリン除去性能および吸着特性の長期カラム実証評価,水環境学会誌,Vol27,No.2,55~62(2014)
- 5) 南條正巳・牧野知之・庄子貞雄・高橋 正：スクメタイト質土壌のリン酸吸収係数における交換性イオンの役割,日本土壌肥科学雑誌,62,41~48(1991)
- 6) 田中 明・西村智恵：松葉炭による水質浄化機能,Coastal Bioenvironment,Vol.6,43~46(2005)
- 7) 大谷杉郎,小島昭『炭素－微生物と水環境をめぐって－』東海大学出版会,2004,第一版,第一刷
- 8) 小浜暁子,徐 開欽,稲森悠平,李 玉友,秋葉道宏,金 主鉉,藤本尚志『水環境保全のための生物学』株式会社産業用水調査会,2006,第二版,第一刷
- 9) 宗宮 功『自然の浄化機構』技報堂出版株式会社,1995,第一版,第四刷
- 10) 沖縄県衛生環境研究所 <http://www.eikanken-okinawa.jp/>
- 11) ホクレンの肥料 [http://www.hiryuu.hokuren.or.jp/qa/q02\\_05\\_01.html](http://www.hiryuu.hokuren.or.jp/qa/q02_05_01.html)

## 自由実験課題一覧(1985-2015年度)

### 1985年度(S60)

#### 農業土木

- 1 風の力について
- 2 土の変水位透水試験(水温を変化させる)
- 3 熱電対実験
- 4 土壌中の塩化物の定量
- 5 熱電対による地温の測定
- 6 粒径の差による地温変化
- 7 粒径による透水試験,トートシテの測定
- 8 地温日変化
- 9 土粒子の沈降と抵抗の変化
- 10 pF値の測定

#### 農業機械

- 1 熱電対の検定と地温測定
- 2 毛管上昇速度(Rate of capillary rise)
- 3 土の変水位透水試験
- 4 土の透水試験法(定水頭)
- 5 土の密度の違いによる透水係数の変化
- 6 定水位試験による透水係数の測定
- 7 土壌の熱容量の測定
- 8 分散率
- 9 塩化物含有量試験
- 10 土の締固めによる最適含水比の測定

### 1986年度(S61)

#### 農業土木

- 1 水田土壌の定水位透水性と水圧分布
- 2 土の粒度の違いによる透水係数と浸潤試験
- 3 乾土の含水平衡
- 4 ストークスの法則
- 5 地温の日変化
- 6 熱電対による冷却効果
- 7 粒度による沈降体積の違い
- 8 →次年度
- 9 土壌中における腐植とpH値
- 10 熱電対の測定

#### 農業機械

- 1 各種の土の溶液の電気伝導度と深さの関係
- 2 場所の違いによる腐植含量の比較
- 3 土の腐植含有量について
- 4 交流ブリッジの作成と各種土のトートシテイ
- 5 土の定水位透水試験
- 6 土柱法による含水量の測定

7 土中における含水比の垂直分布

8 土の水分蒸発量と風速との関係

### 1987年度(S62)

特別講演(E4.8):各種粒度における水分蒸発量と風速の関係

#### 農業土木

- 1 土の腐植とミミズ
- 2 定水位透水試験
- 3 粒径の違いによる洗積高さの違い
- 4 土の含水比と三相分布
- 5 土の音響・伝達,吸収について
- 6 熱電対と熱電対列の比較及び含水比の違いによる温度変化の比較
- 7 各地海岸の砂の透水係数および塩化物含有量の比較検討
- 8 土中水の鉛直上方移動について-土中水の蒸発の様子-
- 9 土の腐植と微生物の集団

#### 農業機械

- 1 土の密度と保温力の関係
- 2 土壌動物と腐植量
- 3 海岸からの距離とpHとの関係
- 4 異なる深さの土の浸潤,透水実験
- 5 収縮定数試験
- 6 ベントナイト他の膨潤実験
- 7 各種土の透水係数および粒度分析
- 8 土の熱伝導度
- 9 河川における海水の電気伝導度と電解質濃度

### 1988年度(S63)

#### 農業土木

- 1 土の深さと腐植
- 2 粒径の違いによる熱の伝わり方とさつまいもの焼け方
- 3 電流による軟弱地盤の脱水効果
- 4 土の浄化作用
- 5 温度変化による土粒子の破壊
- 6 簡易パン焼き器における塩分と発熱の関係
- 7 土の保水力と透水係数
- 8 有機肥料と化学肥料による土の質の差

#### 農業機械

- 1 おいしい水の条件
- 2 コーヒーの入れ方

- 3 河川の塩分濃度と植物の関係
- 4 乾燥状態における土粒子の変化
- 5 粒子の大きさと密度の変化による透水係数の違い
- 6 霜柱の出来る土の条件
- 7 紫陽花と土の関係
- 8 土の電気伝導度と含水比の関係

### 1989年度(H1)

#### 農業土木

- 1 レイノルド数と落下速度と粒径の関係
- 2 粘土の電導性
- 3 土の堅さの調査
- 4 土の液性限界と塑性限界
- 5 土の間隙比・飽和度と電導度の関係
- 6 土壌の保肥力
- 7 粒径による熱伝導性の違い

#### 農業機械

- 1 作物の生育と土壌のPH,腐植量,透水性の関係
- 2 -->次年度
- 3 粒子の沈降と動粘性係数
- 4 土と吸湿性
- 5 アースと深さの関係
- 6 土の水分と剪断力の関係
- 7 河川の距離と塩分濃度との関係

### 1990年度(H2)

特別講演(M4,2):農業機械と土の接地面積

- 1A 土と塩類濃度
- 1B コンクリートによる水のアルカリ化
- 2A 海岸からの塩分の飛来調査
- 2B 酸性の水によるアサガオの変化
- 3A 海岸線からの距離と地下水の塩分濃度との関係
- 3B 土中からの流出水の電気抵抗の変化
- 4A 土のPHが作物に与える影響
- 4B 保水剤の植物に及ぼす効果
- 5A 密室中の空気の流れと室温変化
- 5B 土の粒子および含水比の違いによる保温性
- 6A 泥汚れについて
- 6B 酸性雨の実態調査
- 7A 河川の塩分濃度と距離との関係
- 7B 微生物と腐植の関係

### 1991年度(H3)

- 1A 土壌汚染について考える
- 1B 畑地土壌の性質
- 2A 志登茂川の川底の炭素量測定試験

- 2B 植物による有機物量変化
- 3A 含水比の場所と深さによる違い
- 3B 粒子の沈降に対する粘性係数と粒子密度の影響
- 4A 土粒子の沈降体積
- 4B 粒度による透水係数の違い
- 5A 風による土壌水の蒸発
- 5B 毛管水帯の厚さ
- 6A 土の引張力について
- 6B 空気の断熱変化の実験
- 7A 土壌の塩類濃度
- 7B 湿田土壌の物理的性質による総合判断

### 1992年度(H4)

- 1A 風速と洗たく
- 1B 土のひび割れ
- 2A 雨による土壌侵食の状態
- 2B 土の密度による透水、透油係数
- 3A 腐植量の垂直分布
- 3B 通気係数
- 4A 酸性土壌の中和
- 4B 土の塩類濃度
- 5A 田と畑の土壌実験
- 5B 沈降実験
- 6A 落下速度と濃度との関係
- 6B 土壌の硬さ
- 7A 防風林の効果と蒸発量の変化
- 7B コンクリートの凝固過程における内部温度変化
- 8A 物理的環境変化に伴う土壌水分の移動

### 1993年度(H5)

- 1A 汚水の活性炭による浄化実験
- 1B 風呂の電氣的性質
- 2A NaCl濃度における粘性係数の変化
- 2B 土の強度
- 3A 粒径と温度伝導率の関係
- 3B 土の粒径と乾燥の関係
- 4A 土のサリニティー
- 4B 水の透明度と水温変化の関係
- 5A 土の中和
- 5B 風紋 土に及ぼす風力
- 6A 流量の時間的变化に対する土粒子の濃度
- 6B 土壌の保肥力
- 7A 土壌の締め固めと植物の根の成長度との関係
- 7B 塩類土壌の与える影響とその対策

## 1994年度(H6)

- 1A 葉温と蒸散の関係
- 1B 砂山の形
- 2A 代かきの効果について
- 2B アリジゴクの巣穴について
- 3A 植物ポンプのしくみ
- 3B 風の減衰と回復
- 4A 安濃川水質調査(COD測定)
- 4B 粘土による砂の保水力UP
- 5A 塩水と真水の発振現象
- 5B 水田の地耐力の調査
- 6A 水田の浸透量分布
- 6B 土の緩衝能
- 7A 土の沈降速度
- 7B 土の水分分布と蒸発

## 1995年度(H7)

- 1A 活性炭による水の浄化作用
- 1B 水質調査による志登茂川の汚染地域の特定
- 2A 土壌を通過する酸性溶液のpH変化
- 2B 酸性雨が構造物材料に与える影響
- 3A たばこの煙のCOD値
- 3B 何故、水を当てている皿は、沈まないのか?
- 4A 温泉卵の作り方 -卵の凝固と温度・時間の関係-
- 4B 競馬場のダートコースの水はけの良さ
- 5A ペントナイトの含有量とカイワレダイコンの育ち方
- 5B 土中の間隙と吸収速度の関係
- 6A 粒径と透水係数の関係
- 6B 海岸の砂の塩分含有率の位置的变化
- 7A 電子レンジによる土の含水比算定法
- 7B Darcy則の適用限界

## 1996年度(H8)

- 1A 振動による液状化実験
- 1B pHとカイワレダイコンの成長について
- 2A 濁水の透視度の電氣的な関係
- 2B 土の種類による水分蒸発
- 3A 毛管上昇速度と夏休み
- 3B 粘土の濁り水の凝集・沈降
- 4A イオン交換
- 4B 酸性土壌の改良
- 5A 泥水ろ過作用について
- 5B 粒径の違いによる熱吸収・発散
- 6A 日陰の効用
- 6B 濃度別NaCl溶液湿潤実験
- 7A 土壌の有機物吸着現象

- 7B 緩衝作用

## 1998年度(H10)

- 1A 土壌による浄化作用
- 1B 土壌による液状水の結合
- 2A 台所用洗剤溶液の浸潤実験-イオン交換について考える-
- 2B 粒径別透水係数試験
- 3A 非水溶性物質含有による土壌水の移動
- 3B 転圧回数と土の透水係数の関係
- 4A 海水を真水にする方法
- 4B 土中の塩分濃度と植物の発生の関係
- 5A 地震による液状化現象について
- 5B アリのえさに対する群集のルールを調べる
- 6A 食品の液性限界・塑性限界
- 6B 志登茂川の水質の時間的推移
- 7A 志登茂川のABC
- 7B 土の浄化作用

## 2001年度(H13)

- 1A.アリの巣 砂の構造物
- 1B.土の保水と粒度分布との関係
- 2A.酸性土壌における無機物の流出測定
- 2B.水田土壌の物理性の比較
- 3A.土壌のpH試験
- 3B.水草の浄化作用
- 4A.土壌塩分濃度と発芽率
- 4B.畑の土の管理と性質
- 5A.排気ガス溶解液のpH値と透視度
- 5B.土壌粒度と浄化作用との関係
- 6A.土壌の違いによる蒸発量変化
- 6B.土中への洗剤水の浸透
- 7A.土粒子の大きさと電気伝導度の関係
- 7B.植物の生育条件

## 2002年度(H14)

- 1A.通水の塩分濃度と砂の透水係数の関係について
- 1B.志登茂川の水質調査
- 2A.水生植物の水質浄化作用
- 2B.海岸砂の熱伝導率測定
- 3A.町屋海岸で採水したサンプル水の水質浄化試験
- 3B.水の蒸発量と飽差の関係

## 2004年度(H16)

- 1.植物の生育に影響を与える土壌物理的環境に関する調査
- 2.畑と水田の層別調査

3A. 土壌の一日 — 土壌もいろいろあるけれど・・・

3B. 土壌の物理性と浄化作用の関係

4. 干潟の環境と浄化作用

### 2005年度(H17)

1. 「ミミズくんの冒険」(土壌の種類によるミミズの行動様式を調査する)

2. 「植物に水以外のものを与えたらどう変化するか」(植物と土壌に水以外の水溶液を含ませ、一週間後の植物体の変化を調査する)

3. 「排水を考える」(蒸留水に水質汚濁物質を混入させ、その時の水質(COD、EC、pHなど)の測定を行う。植物と土壌浄化の関係も考える)

### 2006年度(H18)

1. 国東川における水質調査

2. ナメクジと塩の闘い！！

3. 強い土団子をつくる

4. アジサイの乙女心

### 2007年度(H19)

1. ハツカダイコンの生育調査

2. 水生生物の水質の及ぼす影響

3. 三重大学周辺の水質調査

### 2008年度(H20)

1. もやしちゃんの挑戦～早く、おいしく、きれいに食べられるために～

2. 磁力と植物の生育の関係

3. 植物の生育における土壌のpHの変化

4. 津市の1級・2級河川における、水質調査

### 2009年度(H21)

1. 利き水

2. 土のミラクル作用 — 緩衝を勧奨します!!!! —

3. 安濃川、密着24時！

4. 洗剤とカイワレの仁義なき戦い

### 2010年度(H22)

1. 土壌内の水分移動

2. 入浴剤・洗濯洗剤・台所洗剤が水質に与える影響

3. 汚い水が土や葉できれいになるんや

で

4. 貝類の水質浄化作用

### 2011年度(H23)

1. あさりと納豆菌の水質浄化

2. 町屋海岸の植生

3. 志登茂川の干潟環境

4. ベチバーと3つの川

5. マイクロモノリスの作成方法

### 2012年度(H24)

1. 貝の種類による浄化作用の違い

2. Capillary purification & Water permeance coefficient ～僕たちの調べた軌跡～

3. 3つの河川から見る津市の水質

4. 町屋海岸の土壌の性質を探る

### 2013年度(H25)

1. 食品の含水比

2. 土団子おおおお！！

3. 炭の水質浄化効果を検証する

4. 志登茂川における自然浄化作用の検証

### 2014年度(H26)

1. 土の物理性と植物の根の生長の関係について

2. 鉄イオン(II)および鹿沼土が与えるリン酸濃度への影響

3. 表面被覆による霜柱の形成の検証

4. 土壌の油を落とす！

### 2015年度(H27)

1. 町屋海岸における海岸線のパイピング現象を考える

2. 土壌の物理的作用が与える海水への影響

3. 志登茂川河口のリップルマーク調査

4. 塩化マグネシウムが与える土の一軸圧縮強度への影響

## いくつかの話題

### ■ 話題 1 / 「技術者」とは

JABEE が認定の対象とする技術者教育とは、高等教育の学士レベルに対応する技術者育成のための基礎教育を指す。ここでいう技術者 Engineer とは、下図に示すように、技術を業とするもののうち、知識(工学)をその能力の中核におくものを指し、スキルを能力の中核とする技能者 Technician を含まない。

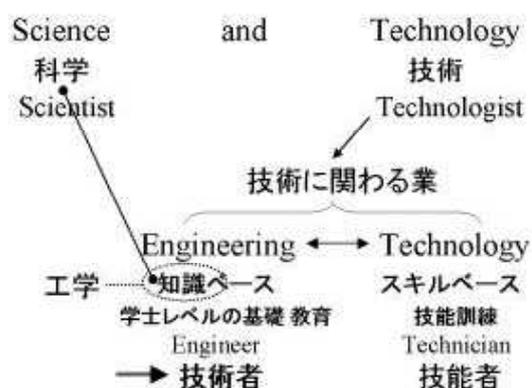
科学 Science と技術 Technology は全く別物である。誰でも検証し再現できる知識 verifiable knowledge の体系である科学は、まだ歴史が浅い。事実だけに忠実な近代科学の歴史は 300 年に満たない。

一方技術は、人類の歴史とともにあった。今日的にいえば、人工物とそれに関わるシステム、それらを創出し、管理するノウハウとスキルの集合を技術と呼べば、それは科学と独立して存在してきた。

上図に示すように、科学の拡大に携わるものが科学者 Scientist、技術の伝承・拡大に携わるものが Technologist である。Technologist に対応する日本語は見当たらない。携わるという表現を、業とするという表現に変えてもよい。業 profession を通じて、個人は社会に対する役割を鮮明にする。

技術に関わる業には、そのベースとなる中核能力に応じて広がりがある。高度な科学知識(工学)とその応用を業の核とするものを Engineering、技能 skill を核とするものを Technology と呼ぶ。前者を担うものが技術者 Engineer、後者を担うものが技能者 Technician である。

技術者に必要な学士レベルの基礎教育は、工学部のみならず、理工学部、農学部など、いわゆる理工系(医学部を除く)学部で広く行われている。技術者の育成を目標とする専門教育プログラムは、組織上の所属を問わず技術者教育と見なされる。



引用)

「技術者教育認定制度が目指すもの」、大橋秀雄(工学院大学学長、日本技術者教育認定機構 副会長)、技術者教育認定制度シンポジウム、2000 年秋

<http://www.jabee.org/OpenHomePage/jabee.htm>



## ■ 話題 2 / 「研究思考」(抜粋)

### まえがき

研究するということは、深く物事を調べ考えて、理を極め明確にすることをいう。理を極めるということは、論理を立てることであり、原理、原則から出発して事実を論ずることにある。

したがって、調査・試験とか、調査・研究あるいは試験・研究という行為は、研究を実施したりする時の手順として当然必要とする場合が多い。研究を欠かすことのできない分野に科学がある。科学を平易に言えば、幾つかの仮定の上に乗って、一定の目的、方法の下に事物、対象を系統的に研究する学問ということになる。

このように系統的に組立てられた知識すなわち学問のためには、物事について明確な理解と認識またその内容を把握しなければならない。

研究に当たっては、必ず技術を伴うことが常である。術とは、理論を実際に応用する手段であり、更には、自然を人間生活活動に都合よく合理的に人手を加えるときに用いられる手段でもある。

今日、地球社会に繁栄がもたらされた大きな原動力は、人間の知恵(ちえ)の賜であり、人間の知恵の研究努力による蓄積でもあるといえる。

研究は、人の意欲によって次々と無限に進展する。人間の思考力が無限に近いものであるゆえんである。

人間の思考力は、知識と知恵によって、物事の理を考え、判断し、処理することである。物事の理解と認識とその内容を保有し蓄積し活用することは、さして困難なことではない。

一般に、考え、思いつき、知識、概念、意見、着想、提案、計画などという意味で、しばしばアイデア(idea)という言葉を使う。

アイデアを出すということは、何かについての考え方を出すということである。このことは、創造する(create)ということと関わりがあるということになる。創造ということは、神が創り出すかのように、無から有を生ずるというような意味のものではない。有から有を生み出すということで「物事や考え方のいままで気づかなかった新しい組合せを得る」ということなのである。極言をすれば、いままでもある事象や現象、あるいはいろいろな方式などの真似をしても一向に差し支えないということでもある。しかし丸写しであっては、アイデアとしての価値がなくなるということはいうまでもない。こうして、人間の思考力、着想力ひいては発想は無限であるといえるのである。

近年とみに発達を遂げてきた近代科学での自然科学分野での研究や技術が、地球はおろか宇宙までも含めた世界に大きな影響を及ぼし、人類社会の発展に力強い貢献を続けてきたことは特記すべきことであり、文明・文化の歴史に革命をもたらしたともいえる。

しかし、その一面、社会にとって必ずしも有用ではないものもあるとする論もあり、原子爆弾、その他大量殺戮兵器の実現やはなはだしい環境破壊の凡例に対して、有識者のなかには、ある種の戸惑いがみられる向きもある。

研究するいう場合に、個々の個人の自発的興味と着想に基づいて発想されることが多いものの、そのなかには社会の要請によって、あるいは学問の展開の過程において、ま

たは科学集団の活動として実施されることもしばしばである。すなわち、個人的研究と目的的研究とがあり、それぞれ単独の場合と集団として研究班を組織する場合とがある。これらを各個研究、計画研究と称することもできる。

また、一般の研究に対して複合領域、広領域のものを区別する傾向が強くなりつつある。計画研究特に、国家社会、国際的立場からの要諦(ようにてい)(注;物事の大切な点)によつての研究に関しては、国家機関ではプロジェクトとして特別配慮されているが、大学関係については明確ではない。それは、自由と自治の侵害をおそれるからである。

今日、我が国の学術面における教育・研究の水準が、比較的短期間で欧米と比肩(ひけん)しうるところまで向上しえたとはいえ、そのほとんどは接ぎ木式の方式によるもので、その着想、その基本的考え方はすべて、諸外国からの導入または流入と考えてよい。すなわち、追随、模倣による強引な加速と器用さによる仕上げの闊達(かっただ)さにあるといえる。しかし、ここで、徳川鎖国時代の3世紀にわたる日本独特の東洋文化のそしやく時代の基盤があったことがいかに役立っていたかを忘れてはならない。

## 大学における研究

大学に課せられた使命の目的は、”学術の中心として、広く知識を受けるとともに、深く専門の学芸を教授研究し、知的・道徳的能力を展開させること”とされている。このことは、”国家にとって必須である学術の理論及び応用を教授し並びにその蘊奥(うんおう)(注:奥義の意)を攻究するとともに兼ねて人格の陶冶(とうや)及び国家思想の涵養(うんよう)に留意すべきもの”として設置された往年での目的が、戦後新制大学向けに改革されたものである。すなわち、戦後の新制大学は、旧制の大学、高等学校、専門学校を母体として新しい基準で作られたためでもある。

いずれにしても、大学設置の目的は、学術(科学・技術)を中心とした高等教育を主体とし、そのために研究を進め、その尖端を教授するほか、人材養成に必要な人格の育成にも力を注ぐこととしている。

したがって、大学における研究の在り方は、全く教師の自律的、自主的な行為に委ねられるものといえよう。

明治当初のころから大正中期に至る大学における活動は、欧州特にドイツ方式を見習って行われ、エリート養成目的が唯一であった。しかし、この時代の我が国の学術の水準は、近代科学を受け入れることが先決であり、模倣(もほう)することで精一杯であり、基礎科学、応用科学のいずれの分野についても素直にそのまま取り入れてきた。大学、学部、学科の選択は、一部を除けば高等学校への入学よりむしろ自由であり容易でもあった。このころの研究者養成もまた同様自由なものであった。ほとんどの場合、教師との話合いで教室に残り、職を得ることができた。学位なども余り問題とはされず、形式より実力主義であり、応用科学分野ではその知識なり、技術の組み立てられるなかでの理論的解明が尊重され、実学を置き去りにして理学的方向へ走り勝ちとなった最近のものとは、はなはだしく趣きを異にしていたといえる。

今日の人たちが、時代が違い科学全般の水準が当時とは比較にならぬほど差異があること、あるいは、科学者、研究者の数の桁外れて増大している現下の教育界、学術界の現状を指摘して、過去を無視せざるをえない理由とする向きもないではないが、たとえ今日

の時代といえども、応用科学における発展は、実学を無視して進歩しうるものではないとする凡例が数え切れぬほど証明されつつあるのである。

殊に、生物界における諸現象、諸問題には、宇宙の問題以上に不可解な、なお知られざる世界の課題が数知れず窺える(うかがえる)のである。

生物のもつ生命、その生命の営み、生物間の関わり合いや自然界におけるそれぞれの生態やその仕組み、しかもそのなかで、ぬきんでて栄え続けてきた人類とその社会・・・数え切れぬ多くの問題が真実の追求を更には真理の究明を待っていることである。

こうした生物界のなかで、人間のみが大消費者として生存を続ける努力の糧として勝ち得た智慧は、遂に今日の人間社会の繁栄をもたらしたといえるのである。

大消費者たる人間が生きるために必要な食糧を任意に生産しうる農耕法を考案し、それはいつしか、衣・食・住すべての目的のために拡大され、技術や工業の力を借りて今日の近代的農・林・水・畜産業力が生まれたことである。

近代科学の力量を思えば、農業に係る理論は既に多くの基本的知識が与えられているかに推察されるであろうが、現実にはまだしの感が深く、しかもその核心ともいべき生命についての科学はいまだ未熟であるといえるのである。

今日、地球上の人類の人口は、40億(注: 53億、'95現在)といわれ、しかも暖温地域を中心に北に近代文化は偏り、南熱帯地方に居住する多くの民族は遠く文明から取り残されてきている。第2次大戦後における地球上での地図の塗り替えは厳しく、世界の平和、人種差別の撤廃、世界民族の平等的繁栄を旗印に、多くの活動が活発となりつつあるなかで、主として南方地域での人口の激増と食糧の不足が目立って問題化されつつある。

衣・食・住を中心とする生物資源の確保の議題が、世界の各国で強い調子で提唱され始めたことも当然の理といわざるを得ない。

地球の上での生物資源の自然条件下での分布、人為的に生産する農・林・水・畜各産業の適用条件等についても平均して均等に分布しているわけではない。それぞれについて、総論的にも各論的にも大きく、地理的条件、環境条件を異にしているのみならず、人為的操作を必要とする農業についての知的特に技術的格差は、その生産力に大きく影響を与えることである。

ここに、特に農業に係る知識すなわち生物学、農学あるいは関連科学、技術は、遠く10,000年の農耕、牧畜の歴史をもちながら近代工業の発展には到底及ばぬ生物対象の宿命的分野であることが挙げられる。すなわち、生物資源の生産確保の第一条件が、依然としてその生命の根源の不明のまま自然条件に左右される事項を少なしとしない点にあるからである。

## 学術の検討

学術を詳細に分野ごとに検討することは、価値のあることである。今日のように細分化し専門化すればするほどその内容評価は重要なことである。

再度、学術を解釈すれば、科学と技術である。科学を一括説明すれば、一定の決まった目的・方法・原理によって、種々の知識を集め取りまとめ整理して体系的に統一する学問ということであり、学問とは、逆に体系的に組立てられた知識であるともいえるのである。

また、技術(technique)とは、いわば技芸すなわち技(わざ)のことで、理論を実地に応じ移

す技(わざ)ともいうべきものである。

テクノロジー\*(technology)は、その中間的なものと考えられ、両者の間を学問的に掛け渡す役目であり、ある意味では、農学のような応用科学分野では、最も重要な役割のものともいうべきである。

\*テクノロジー(technology)の適切な訳語がない。

従来、技術は、多くの場合、経験を重ねて編み出されるものが多く、それぞれにノウ・ハウが重要視されており、最も重要な点は、書物等に表現することが不可能であるとして”以下口伝”とされていた。

近代技術では、特に工業分野では、機械の精密化と併せて電算機活用により無人操作・作業が行われ、いわゆるロボットの活躍が目立つ。農業の場でも施設農業あるいは、農産加工分野も次第にこの方式が導入され始めている。

しかし、今日の段階といえども少なくとも物理的に定まった規格的範ちゅうのものを除いては、人の頭脳または力を借らざるを得ない分野も多く、特に、農業・農学の分野のごとく、環境要因に支配され、しかも、画一的あるいは正確な再現性を求めることの困難な分野では、到底工業的発想による処置は不可能であると思わせざるを得ない。

ここに、農業に関わる農学は、実験科学としての体質を十分理解したうえ、農学の研究、その研究成果に立脚した技術の確立に勤しむべきであり、近代科学的思考あるいは手法を導入することによって、更に大きな発展及び飛躍を期待することができるといえるのである。

すなわち、ここに、テクノロジー(technology)の必要性が理解でき、かつその具体的活用とその確立が、農学にとって、生物学界におけるそのあるべき立場ひいては、科学としての使命の意義を明確にする重要なものであるということがよく理解できよう。

今日、テクノロジーの日本語訳は正式には見当たらない。その意味もまた明確ではない。ある場合、テクノロジーとは、「社会集団が技術文明の恩恵を利用する方法の総称」といい、また「人間生活に必要なものを供給する科学的方法」と説明をしている。

いずれにしてもテクノロジーとは、単に、暗中模索や試行錯誤の方法で創り上げられていく技術ではなくて、その着想や発想の思考がいかなる場合であっても、少なくとも科学的な根拠によって行われるものでなくてはならない。

すなわち、研究を実施するに当たって、その多くの場合、その目的は、未知の現象や事象の解明にある。また、既知のものであっても、ある目的のために改善をしたり、更に理想的目標をおいて開発するものでなければならない。このために、常時備えて訓練をしておかなければならない手段・方法として、頭脳の回転の仕方としてブレインストーミングすなわち、アイデアを創り出す思考法がある。

この際、テクノロジーとテクニク(technique)との区別はあくまで明確にしておかなければならないが、テクニクとは、技術(専門)技巧のことであり、芸術などでは手法や芸風、画風、演奏法等の意味もある。これらの技(わざ)が出来上がるのには、それなりの知識や知恵があって、しかも多くの経験を経なければ得られない。こうして身に覚えた体験の知識は、更に頭脳や体のなかで組み立てられて創り上げられていく。そこには、理論や理屈な

どではない貴重なものがある。したがって、ここには試行錯誤の方法はしばしば試用されているし、無駄のように思えて無駄でないこともしばしばである。すなわち、帰納的思考法が多いといえよう。これに対して、演繹的に攻める方法もある。テクノロジーは、この方式によって、ひいては技術を創り出すといってもよく、また、工学(engineering)の領域に入り込むことができるのである。

ここに、テクノロジーは、科学の一端を担うものであって単なる技術ではないといたい。

テクノロジーを学びテクノロジーを研究するに当たって、あえて心構えを改める必要は毛頭なく、一般科学者、研究者の取る態度と全く同一である。むしろ、農学の分野では、この系外に属する研究を少なしとしない。一般に、研究の意欲・発想の要点は次のとおりと考えることができる。

(i)現在のものの考え方を否定する。

(ii)現在の状態を改善したり、次元の高い希望を開発する。すなわち、不具合な点、不合理な点、不明な点の追求、理想的な構想への推理等が必要となる。

(iii)既知の多くの知識、事象、現象等を改めて組合せ直すことによる新構想の創造に努める。

(iv)ブラック・ボックス\*の設定とその究明に努める。

\*ブラック・ボックス(black box)とは、存在や機能は判明しているが中味が科学的に不明なものをいう。すなわち、多くの実験や研究のなかで入力、出力は明確に把握できても、その中間での過程で、明確な理論づけのできないもの、あるいは全く不明な場合等がしばしばあり、特に、生物界には多い。このことは、逆に、多くの実態の調査、試験等からいかに多くの優れた研究課題を引き出すことができるかということで、ある意味でこの分野に従事する者にとっては僥倖(ぎょうこう)(注:神から受けるさいわい、豊でめでたいの意)な立場にあるともいえる。

(v)研究・試験を実施した結果を取りまとめるとき、その測定数値等データがきれいな形や線で表現できるときとばらついたり、乱れたり、途切れたりする場合がある。研究者にとって、前者よりも後者の場合のほうが、おおいに興味があり役立つものであることを忘れてはならない。研究者が間違っていたり、不手際であったりあるいは、気づかなかった点、新しい問題等を必ず示唆してくれていることがあるからである。

特に、テクノロジーとしての研究または試験、調査等をテクノロジーとして取り扱う場合の要点は次のとおりである。

(イ)試験、調査での資料及びその記録あるいは測定値などを取りまとめるに当たって、単なる記事や記録のみでは、当然、研究として評価することはできない。また、技術的内容についても、単に詳細な説明だけでは同じことである。

(ロ)必ずその目的・目標とそれを実施するに当たっての計画、手順、方法、手段等に科学的あるいは思想的意義と適用理由が必要であり、結果についても科学的及び思想的解析が重要となる。したがって、計画に当たってあらかじめ最終成果を慮る用意がなければならない。

(ハ)例えば、工学設計書や特許のようなものは、技術であると評価する向きもあるが、農

学においては、実施の仕方によってテクノロジーとして科学の範ちゅうに入れることは容易である。設計に利用する数式を初め、多くの既知の事実を取り込むことが常套手段のように考えられ勝ちであるが、この場合でも、その対象に適切な条件の設定、時には、そのための実験、試算、あるいはほかとの比較試験・研究、更にはモデル(model)、相似法(analogy, simulation)等を用いて研究することである。使用する測定法、計算式、統計法にしても、自分の試験、調査の目的を明確に裏づけ得る理由を検討し、単純に借用したり、無意識に使用するハンドバックの利用程度では、研究的意図は認め難いこととなる。

往々にして、テクノロジーを否定したり、自信のない研究者が、安易に理学的部分を引用して逃避したり、あえて、こじつけて平然としている弊風を論文のなかに見受けることがあるが、農学者としては恥ずかしいことである。

(二)往年、立派な設計や調査を論文に仕立てるために、態々(わざわざ)、長年月にわたって、あるいは、多数の資料を取りそろえるなどして、歴史的背景を強調したもの、または、比較研究に組立てるなどしたものを見ることがある。このことは、このことで意義がないものではない。しかし、逃げの一手としてこの方式を利用することは、その専門家に対して冒とくであるともいえよう。

(ホ)要は、農学者が、農学とは応用科学(applied science)であり、実用化への科学(practical and pragmatic science)であり、生物を対象とすることから実験科学(experimental science)であり、常に社会科学的判断を社会要望を踏まえて社会還元する主旨を忘れることなく、農・林・水・畜の産業の合理的発展を期して学び研究し、教え合うことにあることを忘れてはならない。

なお、これらの学問のために経済・経営学、化学、工学・数物理学を十二分に活用することであり、このことがテクノロジーの段階において最も理想的な研究が遂行できるとさえ考えられるのである。

しかも、これら農学の学問から新たな理論の創造が生まれ、理学へ派生、波及することが当然起こり今後も十分あり得ることも忘れてはならない。

実学としての農学の研究に当たって、演繹的、あるいは理論的通常手段での研究をあえて詳述する必要はない。

特に、最近のように、測定器、分析機器の発達をみた現今では、室中実験に当たっては、次の事項に特に意を用いることを厳に注意しておきたい。

- (1)機器を信頼しすぎること。
- (2)精度の選択は、研究目的によること。
- (3)無人測定が可能であることから実態観察等の把握努力を怠ること。
- (4)サンプル採取、調整に当たっては絶対に緻密かつ周到であること。
- (5)結果の整理方法は、研究目的にかなう方式を取ること。詳しくれば詳しいほど、良いとは限らないこと。

(6)モデル実験、シミュレーション等相似試験に当たっては、その仮定条件の設定に意を配り、かつ実態との関連を常時対比すること。

こうした配慮は、室内のみならず野外、室外の実験でも同様である。

生物に人間が合わせる心掛けが肝要で、人間の考え方に生物を引き入れることは感心できない。野外調査・試験でも日の出から日没までの観察を人間生活の時間に合わせ、

その他は自記記録計等のみに頼る傾向がみられるが、これは誤りである。観察は、彼らの生活を追ってのものでなければならない。

著者： **杉 二郎**(すぎ じろう)

1912(大正元)年 10 月 24 日生まれ

東京帝国大学(農学部)卒業

東京大学名誉教授

東京農業大学名誉教授

日本海水学会名誉会員

日本生物環境調節学会名誉会員

タイ国農学会名誉会員

タイ国プリンスソククラ大学名誉博士

タイ国コンケン大学名誉博士

2002(平成 14)年 9 月 24 日永眠



## ■ 話題 3 / 科学論文を書くにあたって

引用・参考元： 日本物理学会（2011）

<http://www.ipap.jp/jpsj/authors/jshiori/writing.html>

論文の内容は千差万別である。その書き方にもさまざまなものがある。

それにもかかわらず科学論文には多くの先人たちの経験から、その目的にふさわしいものとして自ずと定まったスタイルがある。また、論文を書くにあたってどうしても守らなくてはならないルールもある。

### 1. 論文執筆の目的

研究者は、自分の研究がまとまり、その結果が普遍的で、価値ある新しい情報をもたらすと判断したなら、論文として発表すべきである。

また論文として発表することによって、研究者は自分の研究のプライオリティーを主張することができる。

### 2. 論文のオリジナリティーと二重投稿について

現在の世界の研究水準に照らして十分に意義があると判断され、かつ何人も未だ公刊したことのない研究成果がオリジナルな研究成果である。これを報告する論文をオリジナルな論文、すなわち原著論文という。

原著論文を掲載する学術誌では、他の雑誌等に既に掲載されたことのある論文と同一内容の論文を投稿してはならない。これらの行為は二重投稿として固く禁じられている。二重投稿をしないのは研究者のモラルであり、基本的常識である。

### 3. プライオリティー

一つの新しい実験結果や理論的成果が 2 カ所でほとんど同時に発表されると、どちらが先であったかが問題となることがある。この場合のプライオリティーは原則として論文の受付年月日(編集部の受付通知によって著者に知らされる)によって定まる。受付年月日は、誌面では論文の表題、著者名、研究機関名の下に「Received August 7, 1992」のように印刷される。

### 4. 論文執筆の基本的手順

論文は他者に読まれ、理解されて初めて意義がある。論文を読み易く、理解し易いものとするためには、著者は執筆にとりかかる前の準備に十分な時間をかけて想を練る必要がある。言うまでもなく研究は小さなステップの積み重ねであり、迂余曲折を経て完成するものである。しかしこれを論文とするのに、まず細部の記述を進め、それらを綴り合わせて全体をまとめるのでは、構成が雑然としたものとなり易い。そのような論文は見通しが悪く読者を倦ませるものである。

読み易い論文を書くためには、top-down 方式で、まず論文の骨組みを定め、それに肉

づけをするという順序で書き進めるのが良い。

## 5. 論文の骨組みを決める

まず論文の骨組みを定めるとともに、その中に盛り込むべき情報をもれなく列挙してみる。こうしておくことで執筆時の書き直しも少なくなり、結局は労力と時間とを節約することもできる。この段階で考えるべき事柄には以下のような事項がある。

- ・どのような情報を伝えたいか
- ・どのような人に読んで欲しいか
- ・そのためにはどの雑誌のどの部門に投稿するのが良いか
- ・読者にはどのような予備知識が予想されるか
- ・それらの読者に情報を正しく、かつわかりやすく伝えるためには、どのような筋道で記述を進めるのが良いか

言うまでもなく、この段階までに投稿規定を熟読しておくことも大切である。

## 6. 論文の構成の決定

論文の背骨に肋骨をつけることに相当する。

論文中に盛り込みたい事項の一覧表を作る。そして議論の筋道に沿って、相互の論理的順序を考えて配列する。まとめられるものはまとめ、さらに細かく分割すべきものは分割する。また特に短い論文は別として、全体をいくつかの節、更に必要なら小節に分割する。

節、小節の構成と配列は、論文の種類・性格にもよるが、通常は論理の展開の道筋に沿って、「序論、研究の具体的な方法や手段、得られた結果、その検討と解釈、結論」というような順序に配列する。

## 7. 下書き

項目の一覧表が完成したら、それに肉づけし、投稿規定と次節に述べる執筆の心構えを念頭に置きつつ下書き原稿を書いていく。時にはこの段階で配列を変えたいくなるかもしれない。また論文の長さ制限がある場合もあるので、項目の重み付け、あるいは取捨選択が必要となる。しかし骨組みさえはっきりしていれば、その際の判断も楽になるし、また本来必要な事項を書き落す心配も少なくなろう。こうして完成した下書きを検討して、読者に伝えたい情報が適確に伝わるようになっているかを確認する。

## 8. 図表の準備

下書きと並行して図表のスケッチも作っておく。

図は読者のイメージ作りに大変役立つが、万能ではないことにも留意する必要がある。特に実験結果などでは図と表のどちらが効果的に要点を読者に伝えられるかをよく考える。同じデータを図と表の両方に重複させるのは避ける。いずれにせよ、伝えたいことを最も効率的に示すことが肝心である。

## 9. 吟味

以上の各段階に共通して重要なことは、絶えず様々な可能性や組合せを想定し、その

中から最善のものを選び抜く姿勢である。この経過を通してのみ、最良の論文が生まれる。またこのような体験の積み重ねを通じて、より良い論文を書く力が養われるのである。

## 10. 推敲(仕上げ)

最初の下書きができれば、数日間そのままにしておく。その後、新鮮な頭で改めてよく読み直して、不十分な個所を直す。

自分で一応の完成と思う域に達したら、先輩、同僚、友人などに読んでもらって批評を聞く。この場合、その内の一人には自分と専門が少し違う人を選んで、特に論文の読み易さについて率直な印象を言ってもらおうとよい。このほかに、英語を母語としていて、しかも内容をある程度理解できる人に文を通読してもらい、言語表現についての助言を求めることができれば一層望ましい。

## 11. 清書

以上の手順を経て最終原稿が確定したのち、投稿規定に従い投稿原稿の清書をする。学術雑誌では、その雑誌に掲載するすべての論文の構成や体裁、書き方(著者抄録の書き方や、文献を引用する方法など)を統一することになっている。これらに関するとりきめは、国際的約束や規準に沿ったものでなければならない。科学情報への最初の情報インプットであるから、その形式の完備していることが事後の処理のためにぜひ必要である。

上に述べた論文の体裁上の問題のほかに、編集部や印刷所の手数を省き、ミスを最小限にとどめるために、原稿の作り方(文字等の指定、図原稿の書き方など)を統一している。

## 12. 文章表現について

※**明瞭に** 言いたいことが直截に誤解なく、しかも能率的に伝わる文章を書く。

※**簡潔に** 冗長な表現、あいまいな表現、不正確な言い方を避け、なるべく定量的な表現を行なうようにする。

※**筋道立った表現** 読者は論文の主題やそれに関連する事柄を著者のようにはよく知っていない。論理の鎖の環の一つを著者が無意識のうちに省略したため、読者がそれをたどれなくなることが多い。条件の記述に落ちはないか、論理の飛躍はないか、読者の立場から記述を綿密に吟味すべきである。

※**それだけでわかる表現** 論文は自己完結してはならない。論文の中に与えてある情報だけで、読者が著者の記述をすべて理解できるように書くことが必要である。

## 13. 明記すべきこと

自分のした仕事と他人の仕事の引用とがはっきり区別できるように書き、後者は出典を明らかにしなければならない。また、データを示す場合には、どういう誤差があり得るか、データの精度はどれだけかを明記しなければならない。同様に、結論はどういう条件のもとで成り立つものかを明記しなければならない。

## 14. 執筆上の留意事項

一般に論文は基本的には「表題、著者名、研究機関等のいわゆる書誌事項、著者抄録、

本文、引用文献」から構成され、必要に応じて脚注、付録を含む。

論文の種類によっては著者抄録を必要としないから、注意して投稿規定を参照されたい。本文は、特に短いもの場合は別として、いくつかの節に、また必要があれば更にいくつかの小節に分けて書く。冒頭には必ず序論を置き、末尾には必要に応じて「結論、謝辞」を加える。

表題(Title)

著者抄録(Abstract)

キーワード(Keywords)

序論(Introduction)

本論

結論(Conclusion)

謝辞(Acknowledgements)

付録(Appendix)

引用文献(References)

## ■ 話題 4 / (日本の) 土壌物理学は、「未完成」であるがゆえに・・・

巻頭言 土壌の物理性(土壌物理学会誌) 2006.7、第 103 号、pp.1-2 [抜粋]

三重大学大学院生物資源学研究科 成岡 市

いよいよ土壌物理学会の巻頭言を書かざるを得ない時がやってきた。いざ原稿に向かうという時まで、長い時間を悶々と費やしていたように思う。言い訳になるが、知命(論語; ちめい。天が自分に授けた使命を自覚する年齢)を過ぎる頃になると、文を連ねる以前に、先輩知人の顔や言葉が浮かび、遠慮が走り、自らの苦い経験談が深い記憶からよみがえり、それらが雑念として湧き出てきて、どうにも筆が進まない状態になる。こうしたことは、この年齢になって初めて気がつくことなのだろうか。

先日、ある観光地の土産物屋の前を通り過ぎようとした際、洒落た紳士と小学校入学前の利発そうな孫らしき子供の会話が耳に入ってきた。土産を隣近所にいくつ買っていいかという微笑ましい話題で、一箱に何個入っているのか合計何箱を買えば足りるのかといった算数に対して、孫の暗算結果は少々不足分の数を示したようだった。お爺さんは「〇〇ちゃんがそう言うのなら、もしかするとそうなのかもしれないね」と応えていた。そうこうするうちに、小生の歩みは二人の会話が聞き取れぬほどの距離まで進んでいたが、しばらくの間、この紳士の子供へ向けた言葉は耳から離れなかった。「もしかするとそうなのかもしれない・・・」という言葉が。

この土壌物理学会に多大な功績を残された岩田進午さん(第 12 代会長、1982 年-1984 年就任)から、ある用語事典の一節を多くの分担者の一人として書くように依頼された時のことである。「閲読は大変厳しくさせてもらうけど、決して気を落とすことのないようにね」と付け加えられた。その言葉とおおり、精魂込めて書いたつもりの元の原稿は影も形もなく真っ赤(赤ペンで修正指示された)に染まっていたことが記憶に深い。土壌物理学会には厳しい閲読をされる方々が何人も揃っているが、岩田さんはその中でも屈指の厳しさがあった。しかし、厳しい閲読を受けたことを嬉しく思い、感謝の気持ちが沸き起こってくるのである。岩田さんはどのような思いで閲読をしてくれたのだろう。それを聞いてみたくなってきた今日この頃である。

新編土壌物理用語事典(土壌物理学会編、養賢堂、2002 年 9 月初版発行)が出版された際、幸運にもその編集に携わることができた。旧編初版から 28 年後に新編の発行にこぎ着けている。それだけの時間の隔たりには理由があった。それは、新編発行の発案(1998 年)が承認されてから約 3 年間悶々とした時間を経過した後に、ようやく 78 名の執筆・閲読担当者が決まり、15 項目(183 頁)の用語群の執筆と編集に取りかかることになったということから推察できるのではないだろうか。つまり、「日本の土壌物理学の位置づけと将来進む方向は何か、あくまでも未完成、基礎学と応用学の狭間とは何か、伝統を活かすか新参を入れるか、ナンバーワンよりもオンリーワンを目指したい、助けられたり助けたりがある、・・・。」小さな事典の中で多くの論議が繰り返されていたのである。

土壌物理学分野でも、さまざまな視点をもった科学の目を持つことが認められる。

近年では、物理的視点を越えて、土壌微生物、土壌動物、植物根などの「生命」を直接対象としながら土壌物理的現象を解明しようとする研究者も出現している。この研究の途上、土壌物理特性の空間変動といった統計学的な解釈ができない、あるいは解釈が困難な事態に陥る場合があることも少なくない。「もしかするとそうなのかもしれない・・・」として、これまでの既成概念を疑うか、全く知識の外にある対象に立ち向かわなければならない場合があることも認めたい。

先人に尋ねることは、恥ずかしくてもするべきである。ある大先輩が「研究するということは、深く物事を調べ考えて、理を極め明確にすることをいう。理を極めるということは、論理を立てることであり、原理、原則から出発して事実を論ずることにある。系統的に組立てられた知識すなわち学問のためには、物事について明確な理解と認識またはその内容を把握しなければならない」とゼミの場で繰り返して説いてくれた。そして、「機器を信頼しすぎるな。無人測定に任せて実態観察の努力を怠るな。サンプル採取や調整にあたっては絶対に緻密かつ周到であれ。結果の整理方法は、研究目的にかなう方式を取れ。詳しくければ詳しいほど良いとは限らない。安易に測定結果を平均値で表現するな」とも教えてくれた。

「研究の着想や発想」の楽しみはいつまでも持ち続けたい。先の大先輩は、「現在のものの考え方を否定する。不合理な点、不明な点を追求する。理想的な構想を推理する。既知の多くの知識、事象、現象を改めて組合せ直し、新構想を創造する」ことを大切にしていた。

土壌物理学の得意とする技に「測定」がある。測定数値をグラフ上で綺麗な形や線で表現できる場合と、ばらついたり、乱れたり、途切れたりする場合がある。綺麗な結果には科学の蘊奥があると主張する向きもあろうが、綺麗でない方に目がいてもよいではないか。そこに新しい何かがあると思えばこそ、である。

多くの先輩研究者が土壌物理学にチャレンジし、後続の若手研究者に声を掛け続けている。遠方の会場で開催されているゼミに参加してきた若手には「こうしたゼミに参加するだけでも研究者としての努力をしているといえるよ」といい、あるいは「研究の戦士を目指そう」といい、時には「威張るな」といさめ、酒を酌み交わしてきた。

(日本の)土壌物理学は、「未完成」であるがゆえに、楽しみな未来があるのかもしれない。

## ■ 話題5 / 研究ノート(実験ノート)のつくりかた(一例)

記 廣住豊一 博士

### 研究ノートとは何ですか？

研究に関するさまざまな情報を記録するノートのことです。たとえば、実験を行ったとき、その実験の手順や設定条件、得られた結果などを、研究ノートに記録します。また、新しい研究課題や実験内容のアイデアを書きとめておいたり、自分の研究課題に関して収拾した情報を整理したり、研究に対する自分の考えまとめたりするときにも使います。

今後みなさんが進級して、卒業研究を進めていくときには、研究ノートをつくる必要になります。将来、卒業研究で研究ノートを作成することを意識しながら、この実験のノートをつくってみてください。

### なぜ研究ノートが必要なのですか？

研究ノートは、自分が行った研究の過程や結果などを正確に記録し、残しておくために必要です。実験を行った直後は、その内容や結果を鮮明に覚えていても、時間とともに記憶は曖昧になっていきます。いざ、論文(卒業論文)を書く段階になって、実験の設定や条件が思い出せない、ということになっては困ってしまいます。

また、研究ノートは、「確かに研究を行った」ことを示す証拠にもなります。特許などの先取権争いや、捏造や不正行為を疑われたときに反証するための重要な根拠になります。したがって、研究ノートを正確に残すことが重要になります。

### 研究ノートには何を書けばいいのですか？

研究ノートには、実験の内容と結果を記録します。このとき、実験を再現するために必要なすべての情報を記録しなければいけません。たとえば、測定に使用した装置の名称や仕様、設定条件、試薬の分量、水温などが考えられます。記録しなければならない項目は、実験内容によって異なります。事前に実験内容をよく確認し、もれなく記録します。また、得られた実験結果を記録するだけでなく、実験の際に気付いたことなどがあれば、できるだけ記録しておきます。実験中の写真や実験装置の仕様なども印刷して貼り付けておくと、役に立つことがあります。

実験の手順や方法、測定項目などが、確立されている実験を行う場合には、記録する必要がある実験条件や測定結果を漏れなく記入できるようにしたデータシートをあらかじめ作成しておき、このデータシートにデータを埋めていくようにすると、記録漏れが少なくなります。

### 研究ノートを書くときの注意点とマメ知識

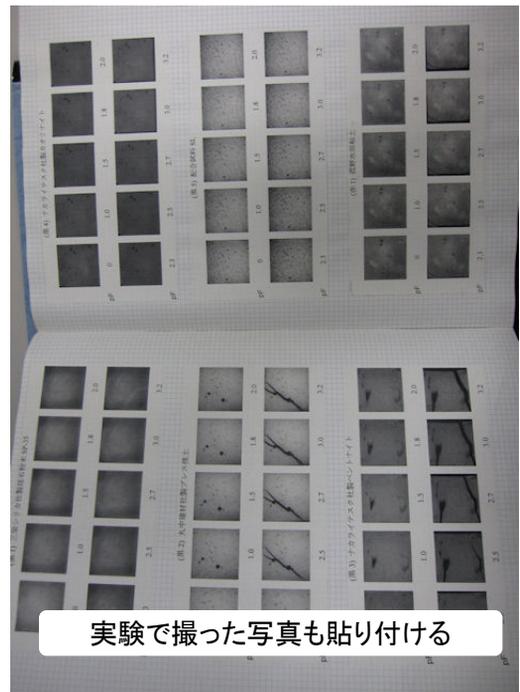
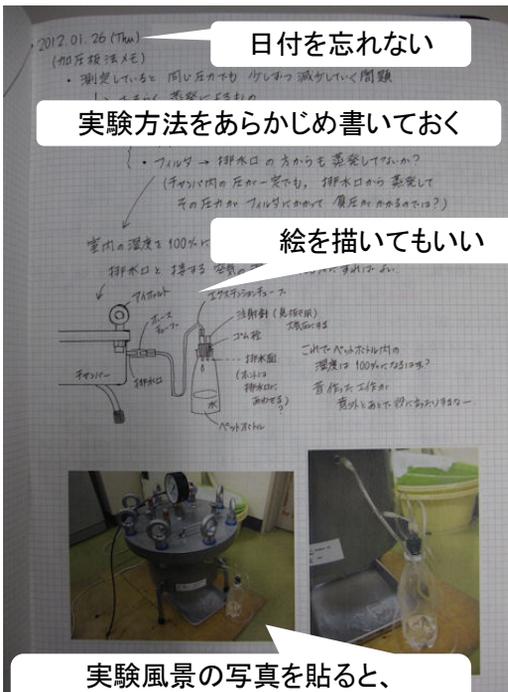
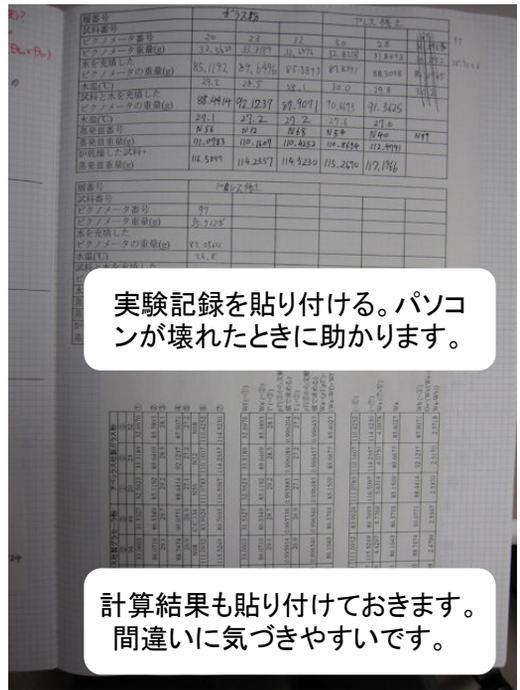
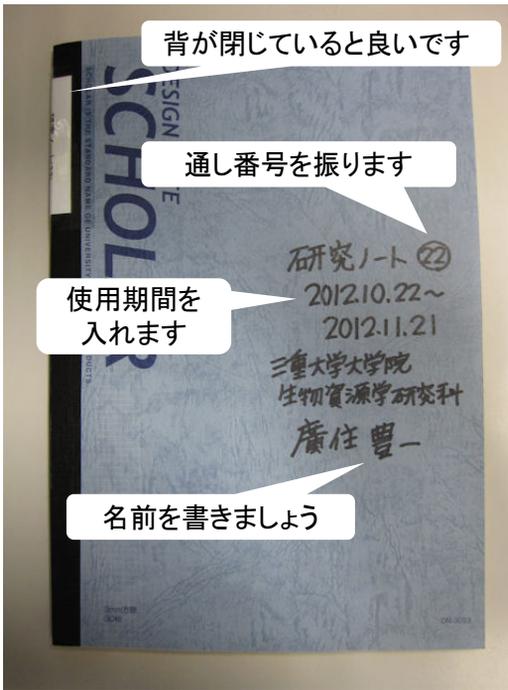
- 製本されたノートを使う。ルーズリーフは使わない。

- ノートがばらばらになったり、一部がなくなったりすることがあります。
- 研究ノートの表紙には、通し番号、使用期間、名前をはっきり書く。
  - これがないと、あとで情報を探すときに苦労します。持ち物には、名前を書きましょう。
- 記録を始めるとき、必ず日付を入れる。年を省略しない。
  - 研究は複数年にわたることがあるため、年も省略してはいけません。
- ボールペンを使って書く。鉛筆・消しゴムは使わない。訂正する必要があるときは、取り消し線を入れる。
  - 訂正前の情報を知りたいことがあります。また、実は本当は間違っていなかった、なんてこともあります。
- 測定結果は、そのまま記録する。簡単な計算であっても、計算後の値のみを書くことをしてはいけない。
  - 計算が間違っていたとき、情報を復元できなくなります。
- 測定結果は、直接研究ノートに記録する。ホワイトボードなどにメモして、あとで書き写すことはしない。
  - 間違っって消してしまったり、転記ミスをすることがあります。印刷したデータシートを使う場合は、研究ノートに直接貼り付けて使うと良いです。
- 単位を忘れずに正確に記録する。
  - たとえば、cm なのか、mm なのか、よく確認しましょう。そのときは、当たり前でも、あとで思い出すことができないことはよくあります。
- 研究ノートは使い切っても捨てずにすべて取っておく。
  - たとえば、卒論を書いているときに、パソコンが壊れても（結構よくあります）、最悪、研究ノートのデータを打ち直せば、復活できます。
- 研究に関する情報は、できるだけ研究ノートで一元管理する。
  - たとえば、野外調査で記録した野帳は、該当ページを切り取って、研究ノートに貼りつければ、なくさずにすみます。
- 実験中の情報のほか、得られた結果や考察も簡単にまとめておく。
  - プログラムで行った計算結果シートを貼り付けたりしても良いです。

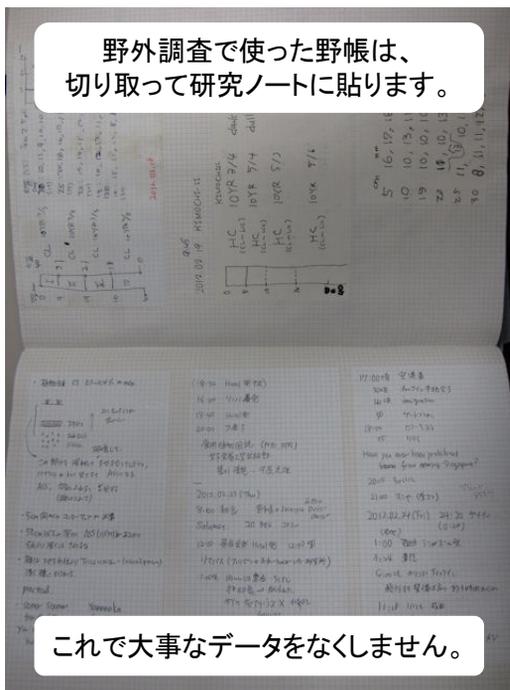
※この例は私の場合です。研究ノートの作り方は、個人や研究室ごとに流儀があります。卒業研究を始める前に、先生や先輩と相談してください。また、自分で工夫して、改良してください。

## 参考文献

Gordon L. Squires 著，重川秀実・山下理恵・吉村雅満・風間重雄訳（2006）：いかにして実験を行うか，丸善，pp.155-163.



野外調査で使った野帳は、  
切り取って研究ノートに貼ります。



これで大事なデータをなくしません。

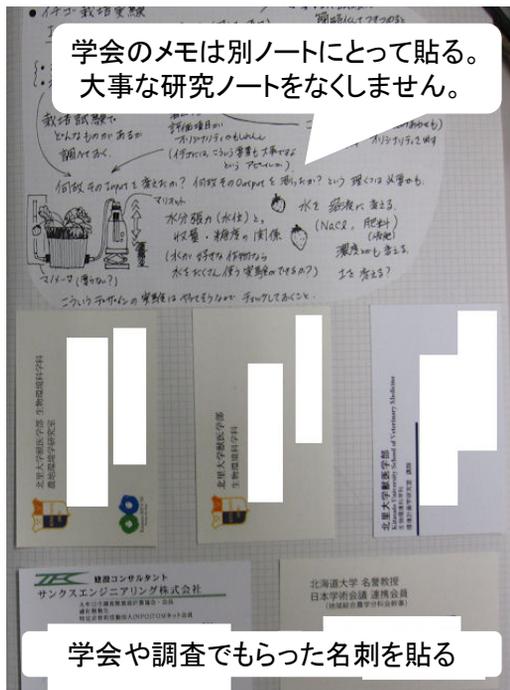


野外調査で撮った写真も貼ります。  
調査の情報を思い出しやすい。

実験に使った試料の情報を残す。  
これはナスの栽培実験のときのもの。



学会のメモは別ノートにとって貼る。  
大事な研究ノートをなくしません。



学会や調査でもらった名刺を貼る

## ■ 話題 6 / 「堆積の法則」と「リップルマーク」

### ■ 地層累重の法則（ちそうるいじゅうのほうそく ; law of superposition）

地層は万有引力の法則に従って、基本的に下から上に向かって堆積し、下層ほど古い。

Nicolaus Steno (1669) : Preliminary discourse to a dissertation on a solid body naturally contained within a solid (固体の中に自然に含まれている固体についての論文への序文)

**第 1 法則** 地層は水平に堆積する（初原地層水平堆積の法則 ; Law of original horizontality）。

**第 2 法則** その堆積は側方に連続する（地層の側方連続の法則 ; Law of lateral continuity）。

**第 3 法則** 古い地層の上に新しい地層が累重する。

### ■ 鍵層（かぎそう ; key bed、marker bed）

地層（土層）間の年代を比較し特定するための特徴的な堆積層。距離が離れていても同一時期に堆積した地層。侵食作用を受けるため水平方向に連続しない場合が多い。離れた 2 点間の地層の生成年代を対比し、連続性を判断する際に重要な指標となる。

火山灰編年学（テフロクロノロジー ; tephrochronology）。



### ■ Ripple mark (リップルマーク、リップルマーク、リップル、漣痕 ; れんこん)

堆積層の表面を水や空気が流れると、その表面に周期的な波状の模様が作られる。この規則的な微地形のことを Ripple mark と呼んでいる。これは地表、河床、海底などに形成される。Ripple mark の形状は、水の流速または空気の風速などに影響を受ける。



### ■ リップルマークの種類とリップル指数

カレントリップル	> 15
複合流リップル	4 ~ 15
ウェーブリップル (ウィンドリップル)	< 4

$$[\text{リップル指数}] = [\text{波長}] / [\text{波高}]$$

(参考)

志登茂川のリップルマーク調査レポート[抜粋] : H27年度3班(鈴木、谷川、谷村、寺嶋、戸田)

## ■ 話題7 / 「土壌断面標本」の作り方



(1) 土壌調査の土地利用状況



(4) 試掘坑底の整形作業



(2) 試掘開始



(5) 土壌調査後、モリス断面整形



(3) 試掘坑の整形作業



(6) 木枠をあてて寸法取り



(7) 木枠寸法にあわせて切削



(10) 表面の木蓋をネジ止め



(8) 切削後、木枠を挿入



(11) 木枠反対側の切削



(9) 締め付け装置で固定



(12) 木枠ごと断面を抜き取る→



(13) 土壌断面の切削整形



(16) マイクロモリス用土壌を採取 (5~10cm深度ごとに袋に入れる)



(14) 整形後の土壌断面



(15) 木蓋をネジ止め(裏表面の蓋止め)



(17) 標本固定用の水溶性ボンド(左)、エポキシ樹脂(右)



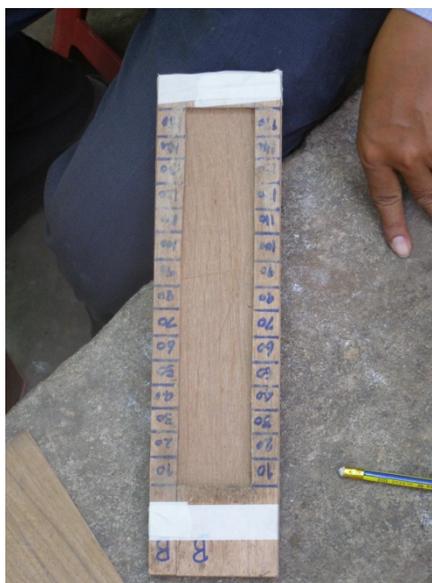
(20) 木枠底面にエポキシ樹脂塗布



(18) マイクロモリス用採取土壌の整理



(21) 木枠内上部(現場地表面)から土壌を徐々に充填



←(19) マイクロモリス用木枠の用意



(22) 充填した土壌を軽く突き固める



(23) 表面の切削整形



(24) 木枠内側と土壌を分離



(25) 土壌試料を約5mm厚に切削



(26) 水溶性木工ボンドを5~20倍に薄め、1%相当の中性洗剤を加えた希釈溶液を噴霧。乾燥と噴霧を重ねて徐々に固化させる。



(27) 出来上がった土壌断面標本（モリス）の周囲に必要なデータ（場所、採取日、土壌シリーズ、深度など）を記入して展示。

本ページの資料作成機関(協力者)：

- ・タイ王国土地開発局(Mr.Somsak SUKCHAN)、
- ・中部大学(Dr.上野 薫)
- ・国際農林水産研究センター(Dr.濱田浩正)

---

環境土木実験テキスト（平成28(2016)年度版）

平成28(2016)年4月1日

編集・発行 三重大学生物資源学部  
農業農村工学講座(地域保全工学講座)  
農地工学教育研究分野（成岡 市）

URL: <http://www.bio.mie-u.ac.jp/kankyo/chiiki/ryuiki/>

---