

平成29(2017)年版

農地工学研 実験マニュアル

三重大学 生物資源学部 共生環境学科
農業土木学講座 農地工学教育研究分野

平成29(2017)年10月1日

農地工学研 実験マニュアル (平成 29 年度版)

目次

	ページ
01.現地(現場)調査における注意	1
02.土粒子の密度試験	3
03.粒度分布試験	7
04.液性限界試験	15
05.塑性限界試験	17
06.飽和定水位透水係数	19
07.限界負圧試験	21
08.pF 測定	23
09.強熱減量	31
10.X 線発生装置と X 線の基本事項	33
11.軟 X 線撮影装置のエイジング法	39
12.軟 X 線撮影方法	43
13.軟 X 線フィルム影像のデジタル画像化	47
14.軟 X 線画像解析法	53
いくつかの話題 (話題 1~7)	55~82

01.現地(現場)調査における注意

作業計画

【内容の把握】

現地(現場)作業の内容を十分に理解する。

【計画・機材・方法の策定】

使用器具等のマニュアルあるいは参考資料の確認を行い、必要機材と操作法を十分理解し、作業の段取りをのみこんでおく。

【作業工程表の作成】

一定期間内に作業が完了するよう、使用器具・器具の数量を確認し、作業行程を決める。

野外作業(外業)

準備

【服装】

- 1) 野外作業を行う場合(外業)、天候の影響を受けることが強い。特に夏季には長時間の炎天下では、半袖は体力消耗に強く影響する。また、有害生物の攻撃に曝される可能性も高い。そのため、夏季の場合でも露出部分が少なく機能性に優れた服装を選ぶ。
- 2) 衣服の袖口・襟・裾は、器械・器具の操作に支障の無いよう、きちんとして身なりにしておく。器械・器具類の操作にあたって、手袋の使用は避ける。
- 3) 靴に関しては、段差のある場所、足下の悪い場所での作業するため履き慣れた運動靴をかかとまできちんと着用して、機動性のある状態にしておく。スリッパ、サンダル、ハイヒール、かかとをつぶした靴などは厳禁。
- 4) よけ帽子、汗を拭うタオル、水分補給の飲料水は必需品である。冬季には防寒等に十分な配慮をとる。

【道具の管理点検】

- 1) 器械・器具の管理にあたっては、常に「整理整頓」に努める。精密品・長尺品・鋭利な部分をもった品など、さまざまな種類の器械・器具が使われる。雑然・混然とした管理は、事故のもとになる。
- 2) 器械・器具の整備点検は、調査を行う前(始業点検)、行った後(終業点検)の両方で、自分自身の手によって行う。必要な場合は関係者等に連絡し、適切な処置を行う。
- 3) 必要な器械・器具類の数量・性能の点検を行い、現場で不良品などが発生しないように注意する。使用する道具への心遣いは、「安全作業」に欠かせない。

【健康管理】

- 1) 外業にあたって、野外の天候状況を十分考慮し、服装や飲料水等の用意をする。特に夏季には水分補給を十分に行い、定期的に休憩時間を取り、気分が悪くなった場合は調査チームメンバーに連絡して対処する。
- 2) 交通事故に遭わぬよう十二分に注意する。作業に集中していて周囲の出来事に気が付かないこともあるため、チームメンバーが互いに注意しあうことも安全確保に欠かせない。
- 3) 自分自身で健康管理を行う姿勢をとる。睡眠不足、身体の不調、精神的いらだち状態などで作業してはならない。心身を常に健康に保つことが事故防止に欠かせない。

野外踏査に関する注意点

【測量現場の把握】

外業に入る前に、現場全体の状況を把握し、安全確認をする。

【有害生物への注意】

- 1) 山野で調査する場合には、ハチ・カ（蚊）・アブ（虻）あるいは毒蛇等の有害生物に十分注意する。これらに遭遇した場合は、刺激を与えないように静かにその場から後退する。
- 2) スズメバチの攻撃に遭遇した場合は、地面に伏して手で目を隠し、身体を動かさない。黒っぽいものは攻撃対象にされやすい。もし刺されたら身体を安静にさせ、医師の診断を受ける。
- 3) 毒蛇の攻撃に遭遇した場合は、最も近い病院、役場、保健所などに連絡してワクチンなど必要な処置を受ける。

器械・器具の取り扱い

【適正な操作方法】

- 1) 使用する器械・器具は、精密にできており、また野外で使用するようになっている。これらの誤った取り扱いや間違った知識は怪我や事故を引き起こす原因になる。正しい取り扱い方法を熟知する。また、さまざまな場合と場所(野外)で使用するため、臨機応変な適正操作を心がける。
- 2) 器械・器具そのものと、周囲の状況に気配りする。精密品の操作に集中するあまり、周囲の人身に危険が迫っているのに気が付かないことがないように十分配慮する。調査チームとして常に自覚をもって行動することが、チームおよび個人の安全確保につながる。とくに危険回避にあたっては、臨機応変かつ迅速な対処をとる。
- 3) 器械・器具の使用後のかたづけは、次に

使用するための準備である。終業点検を怠らない。

【レーザー光等を使用する器具類】

レーザー光は一点に集中する性質があり、眼に入った場合に網膜に損傷を与え、場合によっては失明する恐れがある。使用装置の中には、大出力のレーザー光を発生する装置が使われることもあるので十分注意する。レーザー光を直視しない、散乱光も極力見ない、必要ある場合は保護眼鏡を着用する、操作マニュアルを熟知するなど注意する。

【調査チームによる行動】

単独での作業は行わないこと。常に複数のチームメンバーで行動すること。

室内作業(内業)

長時間の現場作業は疲労の原因になる。適宜休憩時間をとるように注意する。

02. 土粒子の密度試験

準備

【準備物】

ピクノメーター (50cc)	3 個
蒸発皿	3 個
瓶 (Fig.2-3)	2 本
デジタル温度計	1 台
電子天秤 (感度 0.001g)	
真空デシケーター (電気コンロ)	



Fig.2-1 実験器具(加熱法)

【脱気蒸留水作成】

※蒸留水内に含まれる空気が土粒子密度を求める時の妨げとなるため、空気を抜く過程が必要となる。

1. 蒸留水をやかん(実験用)で沸かし、瓶に水冷しながら入れる(Fig.2-4)。
2. 瓶に蓋をして水冷する。

【ピクノメーターの検定】

1. ピクノメーターの質量 m_f (g)をはかる(Fig.2-5)。
2. ピクノメーターに蒸留水を満たし、その全質量 m_a' (g)と水温 T' (°C)をはかる(Fig.2-6)。
3. 任意の温度 T (°C)に対する全質量 m_a (g)を次式より求める。

$$m_a = \frac{T \text{ 時の水の密度}}{T' \text{ 時の水の密度}} \times (m_a' - m_f) + m_f \quad (1)$$

測定方法

- 1) 試料をピクノメーターに入れる。
- 2) ピクノメーターを蒸留水で吹きこぼれない程度まで満たす(Fig.2-7)。
- 3) 乾燥防止のため、真空デシケーターに入れ、半日から1日放置する。1日放置する場合は、気泡の出が収まった後、弁を閉めて水を止める(Fig.2-8)。
- 4) 弁を開ける際、急に開けるとピクノメーターが中で倒れるため、徐々に開ける(Fig.2-9)。
- 5) 脱気蒸留水をストッパーの小孔の口まで一杯に満たす。
- 6) 外面を乾いた布でふき取り、全質量 m_b (g)を測ってから水温 T (°C)を測る。

【加熱法】

測定方法3)~4)の過程の代わりに、電気コンロを用いて、試料、水が入ったピクノメーターを30分ほど加熱する。真空デシケーターよりも短時間で、気泡を取り除くことが出来るが、ピクノメーターからの突沸などを注意し、水は満タンではなく、半分ほど入れるようにする。



Fig.2-2 電気コンロによる加熱



Fig.2-3 瓶



Fig.2-4 水冷しながら蒸留水を入れる



Fig.2-5 ピクノメーターを蓋ごとはかる



Fig.2-6 水温をはかる



Fig.2-7 半分ほど蒸留水を入れる

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w \quad (2)$$

ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³)

m_s : 炉乾燥した試料の質量(g)

m_a : 温度 T(°C)時の水を満たしたピクノメーターの質量(g) ((1)式より)

m_b : 温度 T(°C)時の水と土粒子を満たしたピクノメーターの質量(g)

ρ_w : 温度 T(°C)における水の密度(g/cm³)

ρ_w : 温度 T(°C)における水の密度(g/cm³)

1. 蒸発皿の質量をはかり、内容物全量を蒸発皿に移し、炉乾燥後に土粒子の質量 m_s (g)をはかる(Fig.2-10,2-11)。
2. 土粒子の密度を次式から求める。



Fig.2-8 脱気装置接続図



Fig.2-12 乾燥器



Fig.2-9 橙色の弁を徐々に開ける



Fig.2-10 試料を蒸発皿にあける

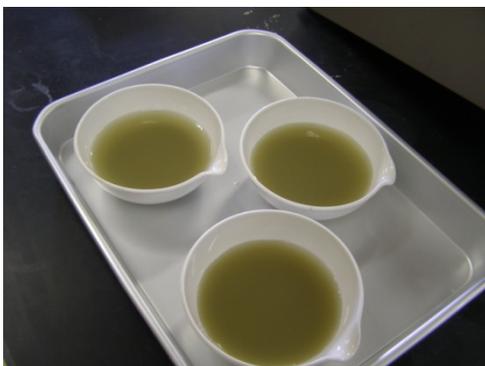


Fig.2-11 試料を炉乾燥し、質量をはかる

以下の表では、3層の土壌の土粒子密度の凡例を記載する。

Table.2-1 熊野1層の例

試料番号	1	2	3
ピクノメーター番号	7.0314	7.0329	7.0348
ピクノメーター質量(g)	31.4469	31.6587	31.8197
水を含むピクノメーター質量(g)	82.0546	81.6852	82.2266
水温(°C)	26.5	27.2	28.0
試料と水を含むピクノメーター質量(g)	86.5296	84.1722	85.8995
試料を加えた後の水温(°C)	23.1	22.9	24.3
蒸発皿番号	N23	N24	N84
蒸発皿質量(g)	76.0492	75.3798	77.9648
乾燥した試料+乾燥皿質量(g)	83.1726	79.3589	83.8311

Table.2-2 熊野2層の例

試料番号	1	2	3
ピクノメーター番号	35	6.08113	6.08114
ピクノメーター質量(g)	35.6014	31.2284	31.0464
水を含むピクノメーター質量(g)	87.3451	81.7467	81.5785
水温(°C)	27.2	27.0	27.3
試料と水を含むピクノメーター質量(g)	94.5907	88.6099	89.9985
試料を加えた後の水温(°C)	22.8	23.4	22.8
蒸発皿番号	N49	N32	N58
蒸発皿質量(g)	78.3383	73.3148	74.9176
乾燥した試料+乾燥皿質量(g)	89.7886	84.0909	88.1476

Table.2-3 熊野3層の例

試料番号	1	2	3
ピクノメーター番号	67	69	97
ピクノメーター質量(g)	35.3925	35.2951	35.728
水を含むピクノメーター質量(g)	86.4296	86.1145	87.0442
水温(°C)	27.2	27.8	28.0
試料と水を含むピクノメーター質量(g)	91.5819	90.7714	90.1838
試料を加えた後の水温(°C)	22.7	23.2	22.9
蒸発皿番号	N31	N76	N33
蒸発皿質量(g)	77.984	78.785	74.8439
乾燥した試料+乾燥皿質量(g)	86.1026	86.0342	79.7643

03. 粒度分布試験 (ピペット法とフルイ分け法)

○ピペット法

事前準備

【準備品】

蒸発皿	8 個
フルイ(呼び径 2.0 mm)	1 個
トールビーカー(500mL)	1 個
マクロピペット(分注量 10mL)	1 個
スターラー	1 台
スターラーチップ	1 個
デジタル温度計	1 個
ストップウォッチ	1 個
水流ポンプ	1 個
保護メガネ	1 個
ヘキサメタリン酸ナトリウム	
電子天秤(感度 0.001g)	



Fig.3-1 実験器具

【試料の準備】

試料はあらかじめ炉乾燥し、その乾燥総質量 m_a を測定する。試料はおよそ 10g 程度を用いる(Fig.3-2)。



Fig.3-2 湿潤試料の質量測定

【試料の土粒子の密度の測定】

懸濁液の採取時間の算出のために必要になるため、試料の土粒子の密度 γ_s を測定する。

【トールビーカーの準備】

500mL のトールビーカーの 5cm の深さの位置にビニルテープで目印をつける(Fig.3-3)。



Fig.3-3 目印を付けたトールビーカー

【マクロピペットの準備】

マクロピペットのチップの先端部から、5cm の位置に目印をつける(Fig.3-4)。

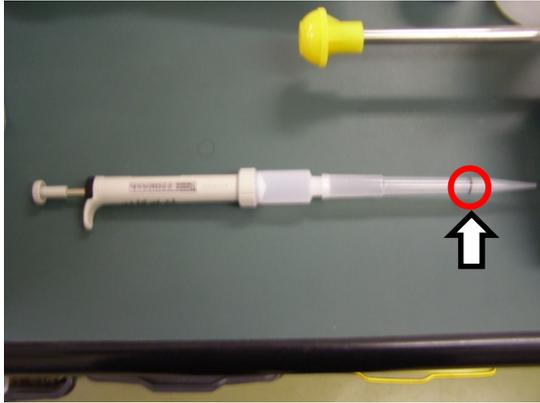


Fig.3-4 目印を付けたマクロピペット

【蒸発皿の準備】

蒸発皿をよく洗浄および乾燥させ、その質量をそれぞれ測定する。

【蒸留水の準備】

空調設備のある実験室に置いておき、蒸留水の温度を安定させる。その際、水温を高めにしておくと、試験に必要な時間を短縮できる。

【懸濁液の採取時間の計算】

懸濁液を採取する時間を計算できるようにしておく。ストークス式より、懸濁液の採取時間 t は、以下の(1)式で求めることができる。

$$t = \frac{18000 \times \mu \times L}{(\gamma_s - \gamma_w) \times d^2 \times g} \quad (1)$$

t : 沈降時間(sec)

μ : 水の粘性係数(Pa・sec)

L : 深さ(cm)

γ_s : 土粒子の密度(g/cm³)

γ_w : 水の密度(g/cm³)

d : 最大粒径(mm)

g : 重力加速度(g/sec²)

【実験方法】

ピペット法では、試料に含まれる礫を2.00mmのフルイにかけ取り除き、通過した試料について、粒径0.074mm～0.02mmの細砂、0.02mm～0.002mmのシルト、0.002mm以下の粘土として選り分ける。

- 1) 試料を2.0mmのフルイにかけ、通過した試料をトールビーカーで受ける。
- 2) フルイに残った試料(礫)を蒸発皿に取る(残留試料)。
- 3) トールビーカーに多少の蒸留水を加える(Fig. 3-5)。
- 4) メスシリンダーに100mLの蒸留水を取り、その中に4.08gのヘキサメタリン酸ナトリウムを入れ、ポリスマンでかき混ぜる。
- 5) トールビーカーに4で作った溶液を20mL入れ、懸濁液がこぼれないように注意しながら、スターラーでよく攪拌する(Fig.3-6)。
- 6) 懸濁液が500mLになるように蒸留水を加え調整する。
- 7) 水温を測定し、水の密度 γ_w を求める。



Fig.3-5 2.00mmのフルイを通過した試料



Fig. 3-6 スターラーで攪拌する

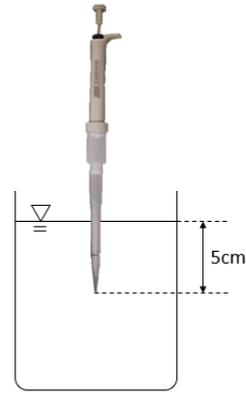


Fig.3-7 マクロピペットでの採取

- 8) 式を用いて、粒径 0.05mm 以下 ($d=0.05$)の粒子が水面から 5cm の深度 ($L=5$)までの沈降するために要する時間を求める(待機時間①)。
- 9) 同様に、(1) 式を用いて、粒径 0.02mm 以下の粒子、 0.01mm 以下の粒子、 0.005mm 以下の粒子、 0.002mm 以下の粒子、 0.001mm 以下の粒子が水面から 5cm の深度 ($L=5$)までの沈降するために要する時間を求める (待機時間②～⑥)。
- 10) トールビーカーにスターラーチップを入れ、スターラーでよく攪拌する。
- 11) トールビーカーを静置すると同時に、ストップウォッチで採取時間の測定を開始する。
- 12) 待機時間①経過後、マクロピペットを使用して、水面下 5cm の位置の懸濁液を蒸発皿に 10mL 採取する(採取物①)(Fig.3-7,3-8)。
- 13) 同様に、待機時間②～⑥経過後、マクロピペットを使用して、水面下 5cm の位置の懸濁液を蒸発皿に 10mL 採取する(採取物②～⑥)。



Fig.3-8 マクロピペットで採取した試料(蒸発皿に採取する方法もあり)

Table. 3-1 ストークス式より求めた各粒径の待機時間の目安

待機時間目安	d (mm)	t (sec)	t
①	0.05	21.72	21s
②	0.02	135.73	2m15s
③	0.01	542.92	9m3s
④	0.005	2171.67	36m11s
⑤	0.002	13572.93	3h46m12s
⑥	0.001	54291.72	15h4m48s
水温 20°C の粘性係数			
土粒子密度 $2.7(\text{g}/\text{cm}^3)$,水の密度 $1(\text{g}/\text{cm}^3)$			

※Table. 3-1 は、 5cm の深度(L)で採取する場合の目安時間である。ストークスの式に測定したい粒径と適当な時間を当てはめて計算すれば、その必要な深度を求めることができる。測定時間の短縮と特定の粒径を狙って測定することができる。

14) 上記 2)の残留試料と採取物①～⑥を

105°Cの電気炉で、24 時間炉乾燥し、それぞれ乾燥質量 $M_0 \sim M_6$ を測定する(残留試料を M_0 とする)。



Fig.3-9 経過時間ごとに採取した試料(左上から残留試料、採取物①～⑥、沈殿試料の順)

15) トールビーカーの底に沈殿した残りの試料は、上部の上澄み液は水流ポンプを用いて排水し、残った沈殿試料を乾燥機にかけ、質量を測定し、検算のデータとする。



Fig.3-10 トールビーカーからの排水

○フルイ分け法

【準備品】

蒸発皿	7 個
フルイ	各 1 個

以下の呼び径

2.00 mm
0.850 mm
0.425 mm
0.250 mm
0.106 mm
0.074 mm
0.054 mm

トールビーカー(500mL)	1 個
----------------	-----

【実験方法】

フルイ分け法では、粒径 2.0mm 以上の礫と 2.0mm～0.2mm の粗砂、0.2mm 以下の細砂、シルトおよび粘土を選り分ける。なお、フルイ分け法においては、フルイに残留するものが一次鉱物になるまで、蒸留水を用いて、団粒構造等はよく解きほぐしながら、フルイ分けを行う。フルイを通過した蒸留水が透明になっているかどうかを目安とし、蒸留水や試料をこぼさないように注意する。

- 1) 試料を 2.0mm のフルイにかけ、通過した試料を蒸発皿で受け取る。(採取物①)。
- 2) 同様に、フルイに残ったものは蒸発皿に取り、通過したものは一段細かいフルイにかけるという作業を繰り返す(Fig.3-12)。0.850mm～0.054 mm のまでに残留した試料をそれぞれ採取物②～⑦とする。
- 3) 採取物①～⑦を、105°Cの乾燥器で、

24 時間炉乾燥し、乾燥質量 $M_1 \sim M_7$ を測定する。



Fig.3-11 フルイ分け装置図



Fig.3-12 通過残留物(0.425mm フルイ)

【粒径分布の算出】

ここで、各操作で得られた残留物の乾燥質量をはかり、それぞれ百分率で表したものをグラフで取ると粒径分布曲線を得る事ができる。百分率の出し方は Excel で以下のように操作する。

○ピペット法

- それぞれの乾燥質量 $M_1 \sim M_6$ を以下のように補正する。

$$m_1(500\text{mL 中の質量}) = M_1(10\text{mL 中の質量}) \times 50$$

$$m_2(500\text{mL 中の質量}) = M_2(10\text{mL 中の質量}) \times 49$$

$$m_3(500\text{mL 中の質量}) = M_3(10\text{mL 中の質量}) \times 48$$

$$m_4(500\text{mL 中の質量}) = M_4(10\text{mL 中の質量}) \times 47$$

$$m_5(500\text{mL 中の質量}) = M_5(10\text{mL 中の質量}) \times 46$$

$$m_6(500\text{mL 中の質量}) = M_6(10\text{mL 中の質量}) \times 45$$

M_0 はそのまま m_0 として扱う。

- $m_0 \sim m_6$ までの乾燥総質量を m として、質量を百分率に直す。

$$\frac{m_0}{\text{乾燥総質量 } m} \times 100 = m'_0(\%)$$

- 同様に、 $m'_1 \sim m'_6$ までの百分率を出す。

○フルイ分け法

- 得られた残留質量の補正をする。

$$m_1 = m_a - M_1$$

ただし、 m_a : 試料の乾燥総質量

- 同様に、フルイの細かい方から順に引いていく。

$$m_2 = m_1 - M_2$$

- これを繰り返し、 $m_1 \sim m_7$ までの値を得たら、質量を百分率に直す。

$$\frac{m_1}{\text{乾燥総質量 } m_a} \times 100 = m'_1(\%)$$

- 同様に、 $m'_2 \sim m'_7$ までの百分率を出す。

- 全ての百分率を得たら、 m'_1 を 100% とし、他の百分率に補正をかける(フルイの目に詰まったり、取りきれなかった土粒子がラグとなって、 m'_1 が 100% 以上になったり、100% 未満になったりするため)。

$$\frac{m'_2}{m'_1} \times 100(\%)$$

【粒径分布からの土性判断】

Table.3-1 粒径による土粒子の分類

粘土	粒径0.002mm以下の粒子
シルト	粒径0.02~0.002mmの粒子
砂	粒径2mm~0.02mmの粒子
レキ(礫)	粒径2mm以上の粒子

この操作で得られた値を表にして、(Table.3-2)、グラフを作成する(Fig.3-14)。

また、Table.3-1 の分類からどの粒径が多いかをグラフから読み取り、粒度分布図(Fig.3-13)からその土性を調べることができる。

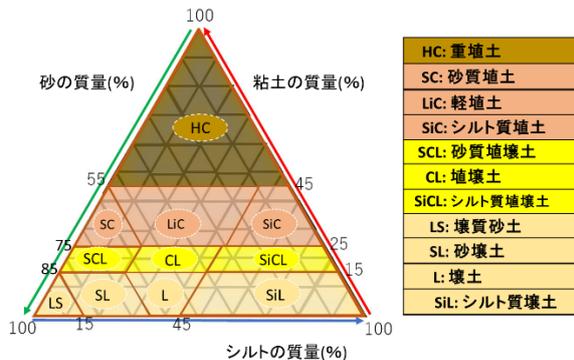


Fig.3-13 三角座標と土性名

以下、四日市市水沢地区における土壌の粒度分布を凡例として記載する。

Table.3-2 粒度分布試験測定例

	m ⁰	m ¹	m ²	m ³	m ⁴
粒径(mm)	2以上	0.05	0.02	0.01	0.005
土(g)	0.285	0.092	0.098	0.071	0.041
補正值(g)	0.285	4.6	4.802	3.408	1.927
%	1.773	28.619	29.876	21.203	11.989
分類別の合計(%)	1.773	28.619		63.068	
	m ⁵	m ⁶		乾燥総質量 m(g)	
粒径(mm)	0.002	0.001		16.073	
土(g)	0.016	0.007			
補正值(g)	0.736	0.315		残留土(g)	
%	4.579	1.960		10.453	
分類別の合計(%)	6.539				

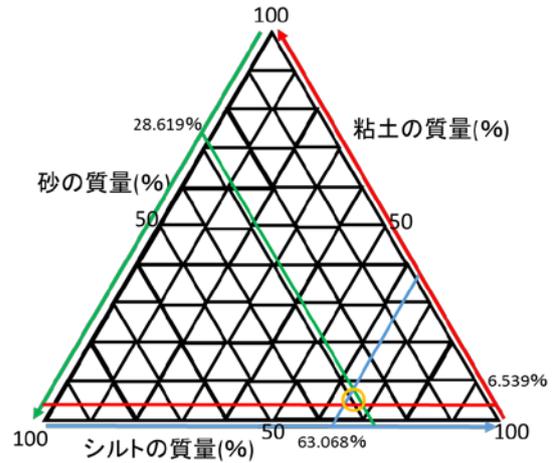


Fig.3-14 粒度分布試験測定例

Fig.3-13 の分類から Fig.3-14 を見ると凡例の土壌は SiL(微砂質壤土)と分類することができる。

参考文献

- 岩田幸良 (1997) 土壌粗孔隙の透水・通気・排水機能とその農地工学的応用, 東京農業大学大学院農学研究科修士論文, pp.54-60
- 久馬一剛 (1997) 最新土壌学, 朝倉書店, pp.40
- 木庭 元晴・青山 千彰 (2005) ピペット法による粒度分析再考, 関西大学博物館紀要, 11 : A1-A19
- 環境土木実験 H28 (2016)年版 P31.図 2-9

Table.3-2 粒径(mm)ごとの通過百分率(補正後)表

試料名	①	②	③
9.5	100.0	100.0	100.0
4.75	100.0	100.0	100.0
2.000	100.0	100.0	100.0
0.850	99.8	99.7	100.0
0.425	98.5	99.6	99.9
0.250	97.2	99.3	99.7
0.106	96.3	98.5	99.5
0.074	82.5	51.5	52.2
0.050	40.4	30.8	24.0
0.020	34.2	27.4	18.1
0.010	29.3	22.2	16.0
0.005	24.1	19.6	15.1
0.002	13.5	18.2	8.6
0.001	12.8	10.2	9.1

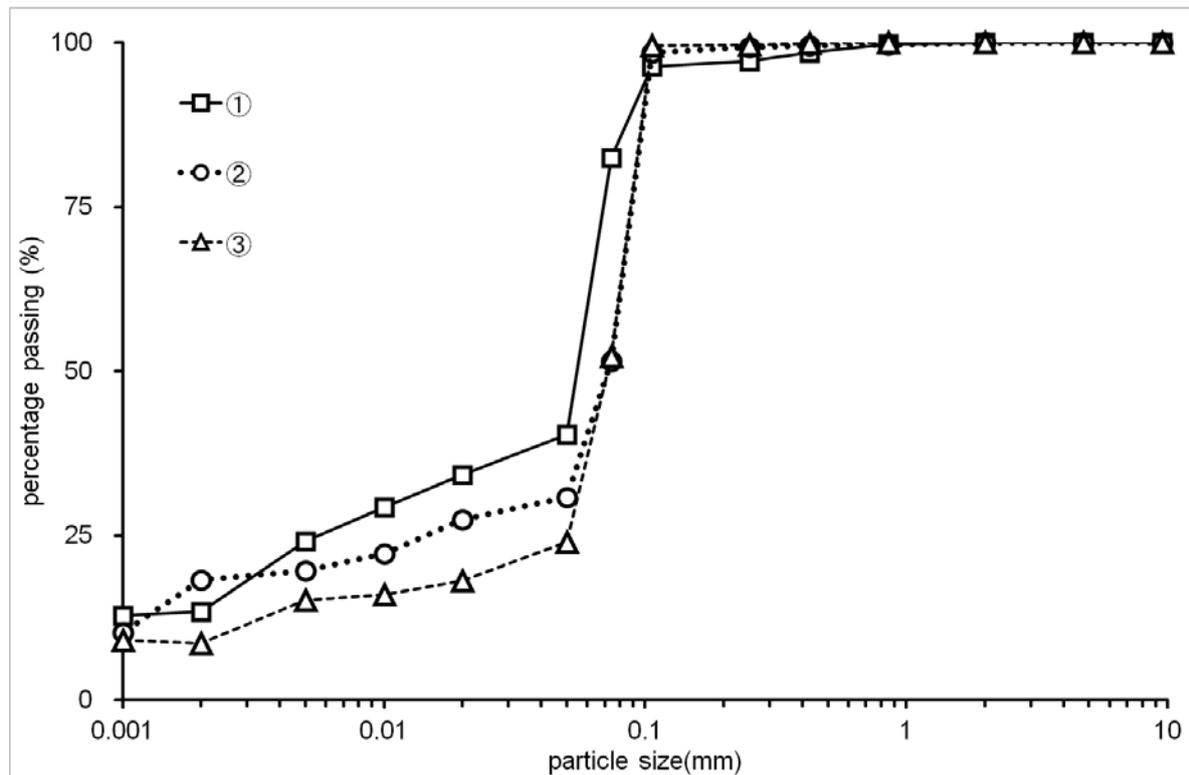


Fig.3-14 粒径分布図の例(この試料では砂が多い試料とわかる)。このグラフの横軸は対数表示(log)である。

04. 液性限界試験

目的

「液性限界」とは土が塑性状かから液状に移るとき境界の含水比のことである。本実験では、試料を入れた黄銅皿 1 cmの高さから 1 秒間に 2 回の割合で落下させ、落下回数が 25 回の時、二分した溝の底部が長さ 1.5 cmにわたり合成するときの含水比をもって液性限界とする。

コンシステンシー

土の含水量の変化による状態の変化や変形に対する抵抗の大小を総称してコンシステンシーという。練返した細粒土の状態が変化する境界の含水比をそれぞれ液性限界(LL)、塑性限界(PL)、収縮限界(SL)と呼び、それらを総称してコンシステンシー限界という。

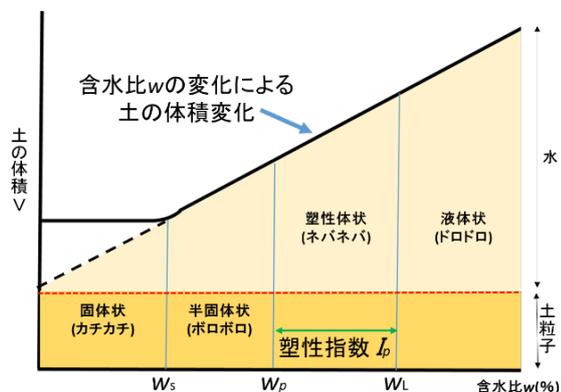


Fig 4-1 土のコンシステンシー限界図

Table4-1 液性、塑性限界の目安値

土の種類	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)
粘土 (沖積層)	50~130	30~60
シルト (沖積層)	30~80	20~50
粘土 (洪積層)	35~90	20~50
関東ローム (粘性の高い土壌)	80~150	40~80

準備

【準備品】

液性限界測定器* 1 台
 溝切りゲージ 1 本
 ガラス板(ザラザラ面を上) 1 枚

ヘラ 1 個
 霧吹き 1 個
 金属製網ふるい(目開き 425 μ m) 1 個
 るつぼ 3 個
 ホーロバット 1 個
 恒温乾燥炉

※液性限界測定器…黄銅皿、落下装置および硬質ゴム台で構成されているもの。



Fig 4-2 硬質ゴム台(液性限界測定器)

【前準備】

- 1) 自然含水比状態の土を非乾燥法で混合して調整する。
- 2) 金属製網ふるい 425 μ m で裏ごしを行い、通過した試料を実験に用いる。通過試料は 200g 用意するが、塑性限界の実験を行うため余分に 30g 用意する。



Fig 4-3 裏ごし

- 3) 黄銅皿とゴム台の間にゲージ(溝切り)を差し込み、黄銅皿の落下高さが 1 cm になるようにねじと調整板を調整する。



Fig 4-4 落下高調整

- 4) 試料 200g をガラス板の滑らかな面上で均等に広げる。
- 5) 試料がパテ状になるように、試料の含水比を調整しながら十分にヘラで練り合わせる。



Fig 4-5 パテ状になった試料

操作方法

- 1) 試料を、ヘラを用いて黄銅皿に入れ、最大厚さが約 1 cm になるように形を整える。
- 2) Fig 4-6 のように、溝切りを黄銅皿の底に直角に保ちながら、皿の中心線を通るように試料を二分する。
- 3) 溝が切れない場合は試料の含水比を調整し、1、2 の操作を繰り返し行い、それでも溝が切れないときは非塑性とする。
- 4) 落下装置のハンドルを回し、1 秒間に 2 回の割合で黄銅皿を持ち上げては落とす。
- 5) 二分された溝の底部の試料が長さ約 1.5

cm 合流した時の落下回数を記録し、合流した付近の試料をヘラでシャーレにとって含水比を測定する。

- 6) 黄銅皿の試料をガラス板にもどし、黄銅皿を乾いた布でよくふき取る。
- 7) 試料に霧吹きで蒸留水を加えて含水比を増し。1～6 の作業を繰り返す。その際、少なくとも落下回数 25～35 回のももの 2 個、10～25 回のもものが 2 個得られるようにする。

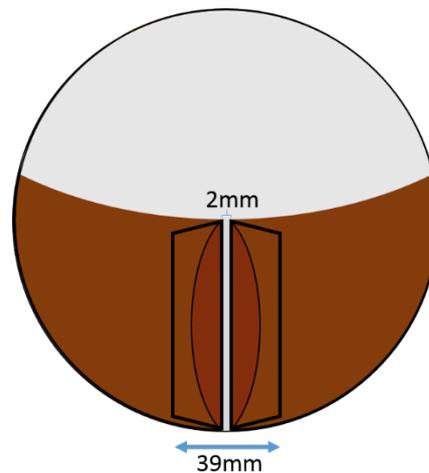


Fig 4-6 溝切り後の状態

データまとめ方法

【液性限界の決定】

- 1) 片対数グラフ用紙の横軸に対数目盛で落下回数を、縦軸に算術目盛で含水比 w をとり、測定した値をプロットする。
- 2) プロットした点に最もよく適合する直線を引く。この直線を流動曲線と呼ぶ。
- 3) 流動曲線において落下回数 25 回に相当する含水比を図より読み取り、これを液性限界とする。
- 4) 本実験で液性限界が求められない場合は NP とする。

参考文献

地盤工学会編（平成 24）土質試験基本と手引き改訂 2 版, pp.39-48

05. 塑性限界試験

目的

「塑性限界」とは土が塑性状から半固体状に移るときの境界の含水比のことである。本実験では、試料をガラス板上で、手のひらで転がしながら直径 3 mm にしたとき、ちょうど切れぎれになるときの含水比を塑性限界とする。

準備

【準備品】

ガラス板	1 枚
霧吹き	1 個
ドライヤー	1 個
金属製網ふるい（目開き 425 μm）	1 個
シャーレ(るつぼ)	3 個
ホーロボット	1 個
恒温乾燥器	1 台
はかり	1 台
直径 3 mm の丸棒	1 本

【前準備】

04. の前準備 1、2 と同様の手順を行う。
- 試料 30g をガラス板の面上で均等に広げる
- 試料が団子状になる程度に、試料の含水比を調整しながら十分に手で練り合わせる。

操作方法

- 団子状の試料から、約 8g をとって手のひらでまるめ、楕円形のボール状にし、これを手のひらとすりガラス板との間で転がしながらひも状にし、ひもの太さが 3 mm になるように細くしていく。
- ひもの太さが 3 mm になる前に切れぎれになる場合は、蒸留水を加え、十分練り合わせたのち 1) の操作を繰り返す。
- ひもの太さが 3 mm になっても切れ切れにならない場合は、ひもを数か所で切り、再び指で練り合わせ 1) の操作を繰

り返す。

- この土のひもがちょうど直径 3 mm で切れぎれになったとき (Fig5-1)、その切れぎれの土を集めて含水比を測定する。
- 1～4 の作業を同一試料で少なくとも 3 回行う。

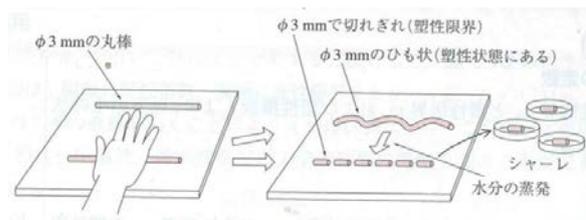


Fig5-1 塑性図による粘性土の力学的性質 (土質試験基本と手引きより引用)

データまとめ方法

【塑性限界の決定】

- 実験で求めた 3 回の測定値の平均含水比を塑性限界とする。
- 塑性限界が求められない場合や塑性限界が液性限界以上となる場合は NP(non-plastic:非塑性)とする。

【塑性指数の計算】

塑性指数 I_p は、液性限界と塑性限界の差で、次式から求める。

$$I_p = w_L - w_p$$

【液性指数の計算】

液性指数 I_p は、自然状態にある土の含水比（自然含水比） w_n が液性限界 w_L や塑性限界 w_p に対して相対的にどのくらいのところにあるかを示したもので、相対含水比とも呼ばれ、自然含水状態における土の相対的な硬さ、または、やわらかさを表す指数であり、次式で求められる。

$$I_p = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w_n - w_p}{I_p}$$

w_n : 自然含水比 (%)

【コンシステンシー指数の計算】

コンシステンシー指数 I_c は、粘性土の相対的な硬さや安定度を表す指数であり、次式で求められる。

$$I_c = \frac{W_L - W_n}{W_L - W_p} = \frac{W_L - W_n}{I_p}$$

【活性度の計算】

活性土 A は、粘性土の活性の程度を表したもので、次式で求められる。

$$A = \frac{I_p}{2\mu\text{m以下の粘土含水率 (\%)}}$$

Table.5-1 活性度による粘土の区分

活性度 A	粘土の区分
0.75未満	非活性性粘土
0.75～1.25	普通の粘土
1.25以上	活性粘土

【塑性図】

塑性指数 I_p と液性限界 w_L を用いて粘性土を分類する方法として、塑性図がもちいられる。塑性図は、縦軸塑性指数、横軸に液性限界をとり、A線： $I_p = 0.73(w_L - 20)$ と B線： $w_L = 50$ の2本の直線を引くことにより4つの区画に分け、この土がどの区画にあるかにより、塑性、圧縮性、透水性などの工学的性質を知ることができる。

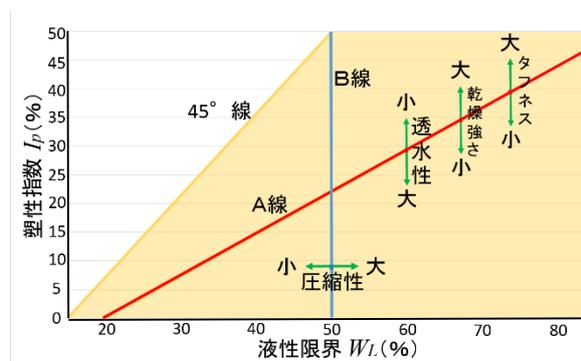


Fig5-2 塑性図による粘性土の力学的性質

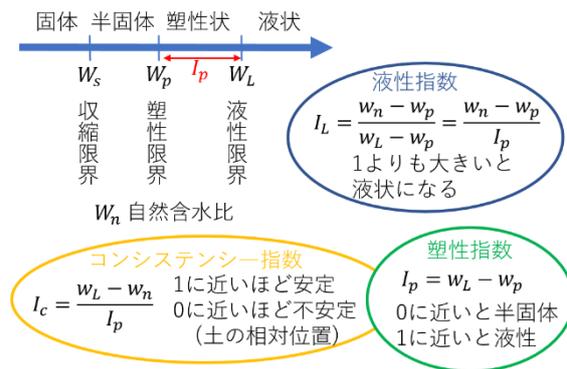


Fig5-3 各指数のまとめ

参考文献

地盤工学会編（平成 24）土質試験基本と手引き改訂 2 版, pp.39-48

・ Fig.5-1

地盤工学会編（平成 24）土質試験基本と手引き 改訂 2 版, p43.図-5.10

06. 飽和定水位透水係数

【準備品】

ストッキング(爪付き網)	1 個
輪ゴム	1 個
圧力キャップ	2 個
O リング	2 個
固定ねじ	3 個
網フェイルター	2 個
三方活栓	2 個
チューブ	3 本
るつぼ(水受け皿)	1 個
ペットボトル(500ml)	1 本
ゴム栓	1 個
ミニロット	1 個
ゲンコツ	2 個
ねじ締め型アーム	1 本
注射器	1 個
ストップウォチ	1 個
ジャングルジム(?)	1 式



Fig 6-1 実験装置



Fig 6-2 装置の組み立て

【前準備】

農地工学研究室 310 室内の実験装置(ジャングルジム)を組み立てる。限界負圧試験と同様の器具を用いるため、連続して行うとよい。

実験方法

- 6) 試料下面にストッキング(または爪付き網)をつけ、24 時間毛管飽和させる。
- 7) 圧力キャップとサンプラーの密閉度を高めるために、O リングを装着する。
- 8) 試料のストッキング(爪付き網)を外し、試料両面に網フィルターを固定した。
- 9) 圧力キャップを円筒試料の上下にはめ、組み立てた装置にアームを用いて固定した。
- 10) ペットボトル内に水を入れ、ゴム栓をし、三方活栓で流水を防ぐ。
- 11) 装置下部からチューブと注射器で、給水し、試料内を飽和させて三方活栓で流水を防ぐ(Fig 6-3)。
- 12) ストップウォチで適当な時間を測り始め、ペットボトルの方の三方活栓を開く。
- 13) ペットボトル内に気泡が発生することを確認し、上部の圧力キャップの排水溝から出てくる水をるつぼで受け、時間ごとに記録する。

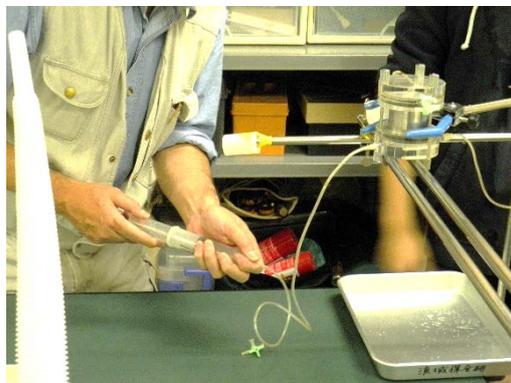


Fig 6-3 装置内へ給水作業



Fig 6-4 実験装置の全景

Fig 6-5 透水試験概要図

データまとめ方法

$$Q = k \frac{h}{L} At$$

$$k = \frac{QL}{hAt} \quad (1)$$

ただし、

Q:流量 (cm³)

H:水位差 (cm)

L:試料の長さ (cm)

A:断面積 (cm²)

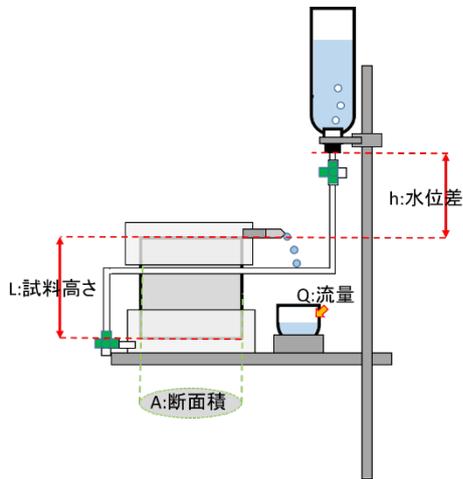
t:時間 (sec)

k:透水係数

上の(1)式を用いて透水係数を求める。

参考文献

- ・環境土木実験 H28 年版 p34～p37



07. 限界負圧試験

限界負圧

飽和した土壌に負圧(マイナスの圧力)を高めていくと次第に土壌間隙内の水が排除され、空気が侵入し始める圧力となる。最も太い間隙内の水が排水され、空気に置き換えられる負圧を限界負圧(空気侵入圧)という。限界負圧となると閉鎖的だった土壌内での浸透流が外気を通して行われる。

最も太い孔隙(限界間隙)の指標となる値であり、土壌構造による透水性に大きく影響する。

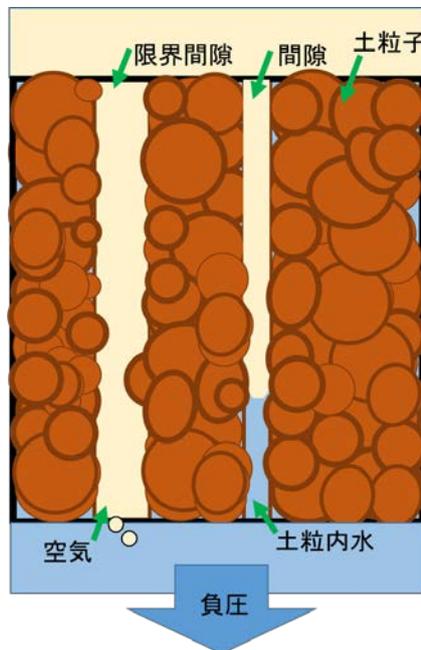


Fig 7-1 限界負圧の説明

準備

【準備品】

ストッキング(爪付き網)	1 個
輪ゴム	1 個
圧力キャップ	2 個
Oリング	2 個
固定ねじ	3 個
網フェイルター	2 個
三方活栓	2 個
エクステンションチューブ	3 本
フィルムケース(水受け皿)	1 個
メジャー	1 個

ゲンコツ	2 個
ねじ締め型アーム	1 本
注射器	1 個
ジャングルジム	1 式



Fig 7-2 実験装置

【前準備】

農地工学研究室 310 室内の実験装置(ジャングルジム)を組み立てる。透水係数と同様の器具を用いるため、連続して行うとよい。

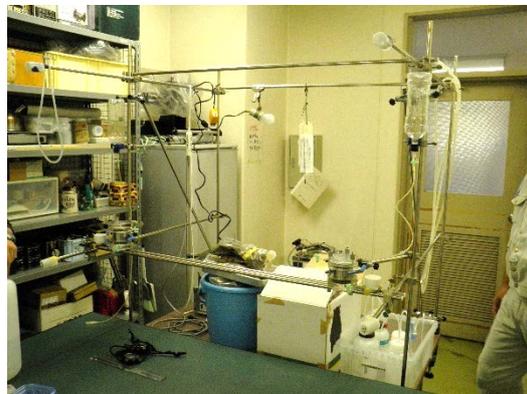


Fig 7-3 実験装置(ジャングルジム)

実験方法

- 14) 試料下面にストッキング(爪付き網)をつけ、24 時間毛管飽和させる。
- 15) 圧力キャップとサンプラーの密閉度を高めるために、Oリングを装着する。
- 16) 試料のストッキング(爪付き網)を外し、試料両面に網フィルターを固定する。
- 17) 圧力キャップを円筒試料の下側だけにはめ、組み立てた装置にアームを用い

て固定する。

- 18) 装置下部からエクステンションチューブと注射器で水を満たし、上部から水が出てくるまで給水する。
- 19) 試料土基準面と排水位のレベルを一致させる(Fig7-4)。
- 20) 6)の状態まで平衡になるまで待機し、負荷圧ゼロ時の排水を捨て、排水がなくなった状態から開始する。
- 21) 以下、順次段階的(1cm(H₂O)/min)に負荷を増大させ、各負荷段階の平衡状態確認の上でフィルム内の脱水量を測定する。
- 22) 試料末端界面に気泡が連続的に発生したことを確認して、その時点の負荷圧と脱水量を記録して実験を終了する。



Fig 7-4 試料土基準面と排水位の一致

データまとめ方法

得られたデータから負荷圧 H (kPa)を横軸、積算脱水量(cc)を縦軸に取り、脱水曲線を作成する。

Table7-1 限界負圧試験の測定例

負荷圧(cm)	脱水量(cc)
0	0
1	0
2	0
3	0.11
4	0.11
5	0.11
6	0.11
7	0.11
8	0.11
9	0.11
10	2.16
11	3.1

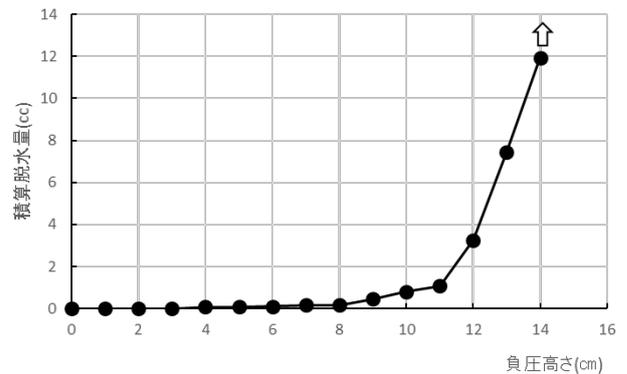


Fig7-5 Pk-脱水曲線の例

(上矢印は限界間隙から空気が抜けてことを意味する)

参考文献

H25年 古谷啓修論

08. pF 測定

目的

本実験では、土壌に含まれている水の量と、これらが土に引き付けられている強さの関係を測定する。実験には加圧版法を用いる。測定結果から水分特性曲線と水分分布図を描く。これらは例えば、畑地灌漑の計画を立てる際に重要となり、間隙の様子を知る手がかりになる。

準備

【準備品】

50cc サンプラー	数個
土壌ナイフ	1本
ストッキング(爪付き網)	
輪ゴム	
電子天秤 (感度 0.01g)	

【前準備】

- 4) 排水バルブ、排気バルブを締めてフィルターの飽和を行う。
- 5) 50cc サンプラーの片側にストッキングを取り付け、ストッキング側の面を水に浸し、半日ほど放置して飽和状態にする。

※ストッキングと輪ゴムの代わりに爪付きの網(Fig.8-1)でも実験が行える。



Fig.8-1 爪付き網

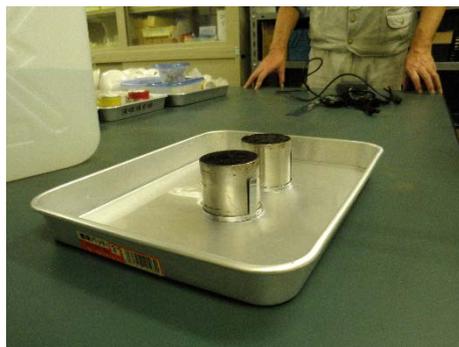


Fig.8-2 試料の飽和作業

操作方法

- 23) 試料のストッキングを外し、その面にろ紙を敷く(試料とフィルターの接触を高めるため)。
- 24) 試料をフィルターに密着するように置く(Fig.8-3)。
- 25) 蓋を閉めて、Oリングとアイボルトを取り付ける(星印状に対角線対向で閉める)(Fig.8-4)。
- 26) 排気バルブ、排水バルブを閉める (Fig.8-5-1, Fig.8-5-2)。
- 27) 給気バルブと自動圧力調節器をつなぐ加圧チューブを接続する。
- 28) 換算表(Table.8-2)から、測定したい pF 値に対する設定値を自動加圧装置に入力する (Fig.8-6)。



Fig.8-3 フィルターに試料を置く



Fig.8-4 蓋取り付け



Fig.8-5-1 排気バルブ



Fig.8-5-2 排水バルブ

- 29) 加圧を開始し、給気バルブを開ける。
- 30) 以上の状態で、水の排出がなくなるのを待つ。
- 31) 水の排出がなくなったのを確認し、給気バルブを閉め、自動圧力調整器を止めて排水バルブをゆっくりと開ける。
- 32) 給気バルブをゆっくりと開け、加圧チューブを外す。
- 33) Oリングとアイボルトを外し、蓋を開ける。
- 34) 金属ヘラなどを使い、丁寧に試料を取り出す(Fig.8-7)。
- 35) アルミホイルを敷いたばかりに載せ、質量(円筒+試料)をはかる(Fig.8-6)。
- 36) フィルターに付いた土を取り除き、試

料を並べ、再び1)の操作から繰り返す。
 ※12)のときに、質量に変化がなければ圧力を引き上げて次の段階に進む。



Fig.8-6 自動圧力装置



Fig.8-7 試料取り出し



Fig.8-8 質量測定

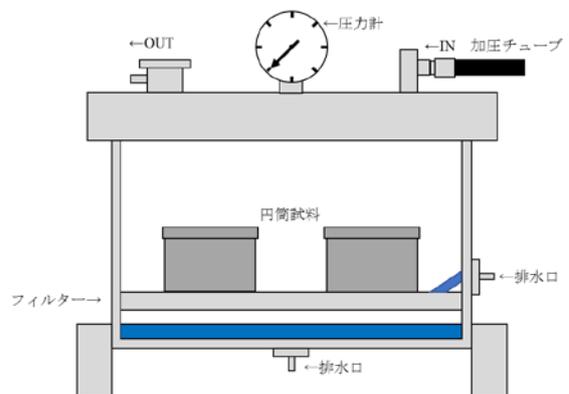


Fig.8-9 pF装置の概構造

データまとめ方法

【体積含水率の求め方】

- 3) 一連の操作が終了した後、輪ゴムとストッキングを外し、試料と円筒は蒸発皿に入れる。また、外した輪ゴムとストッキングはアルミの受け皿に入れる。この2つを炉乾燥させる。
- 4) 水の質量を計算で求める。このとき、水の質量は湿潤状態の質量から乾燥後の質量を差し引けばよい。

$$[\text{水の質量}] = [\text{湿潤総質量}] - [\text{乾燥総質量}]$$

$$[\text{乾燥総質量}] = ([\text{乾燥質量 A}] + [\text{乾燥質量 B}])$$

ただし、

[乾燥質量 A] : 試料+サンプラー

[乾燥質量 B] : ストッキング+輪ゴム

- 5) 水の質量から体積含水率を求める。

$$\text{体積含水率}\theta = \frac{\text{水の質量}}{\text{サンプラーの体積}}$$

$$\times 100 \quad (\%)$$

【水分特性曲線および水分分布図の描き方】

- 1) pF の各区間で体積含水率が求められたら、次式で pF を $\psi(-\text{J kg}^{-1})$ に変換する。

$$\psi(-\text{J kg}^{-1}) = 0.098 * 10^{\text{pF}}$$

※ pF

水が土壤に吸着されている圧力を水柱の高さ H (cm) で求め、これを対数で表示したもの。

※ サクション

不飽和状態の土壤水の圧力(毛管現象によって水を吸い上げる力)。土粒子が水によって互いに引き付けられる力。

- 2) 横軸に θ 、縦軸(対数)に ψ (サクシオン)をとって水分特性曲線のグラフを描く(Fig.8-10)。
- 3) 横軸(対数)に ψ 、縦軸に含水率の変化量をとって水分分布図を描く(Fig.8-11)。
- 4) $\psi = 0.1$ (pF = 0) の測定値は加圧版

による方法でなく、水をひいたバットにサンプラーを置き、毛管上昇によって水を吸ったときの体積含水率を用いる。

- 5) また、サクシオンを土壤間隙の毛管力によるものと考えれば、ジュレンの式①より間隙径の分布図が描ける(Fig. 6-12)。

$$H = \frac{0.3}{d}$$

H : 毛管上昇の高さ(cm)

d : 管の直径(cm)

これを移項し

$$d = \frac{0.3}{H}$$

H は pF を以下の式で換算して求める。

$$H(\text{cm}) = 10^{\text{pF}}$$

参考文献

農業農村工学会編(2003) : 農業土木標準用語辞典改訂5版, pp.142-143, 農業農村工学

pF 試験 宮古島サトウキビほ場(ヒカ)

(2012.01.10~2012.04.20 測定)

<測定値> Table.8-1 測定例

採取点	III (H)	IV (H)	III (V)	IV (V)	
試料番号	05	06	07	08	
乾燥試料 質量(g)	66.07	62.44	58.31	62.67	
容器質量 (g)	34.58	34.4	34.57	34.52	
乾燥試料+ 容器質量 (g)	100.65	96.84	92.88	97.19	
圧力	pF	試料総質量(g)			
	0	127.31	123.89	122.24	125.23
	1.0	127.02	123.30	121.12	124.92
	1.5	125.06	121.06	116.41	122.28
	1.8	124.04	120.11	114.89	120.47
	2.0	123.38	119.45	114.44	119.94
	2.3	122.59	118.75	113.62	119.11
	2.5	122.15	118.42	113.24	118.69
	2.7	121.69	118.03	112.84	118.22
	3.0	120.95	117.43	112.33	117.54
3.2	120.48	117.05	111.87	117.09	

Table.8-2 各値の簡易変換表

pF	0	1	1.5	2	2.3	2.5	2.7	3	3.2
d	0.3	0.03	0.009	0.003	0.0015	0.00095	0.00060	0.0003	0.00019
ψ	0.098	0.98	3.099	9.8	19.554	30.990	49.116	98	155.320

Table.8-3 データのとりまとめ

採取点		III (H)	III (V)	III (H)	III (V)
pF	ψ (サクシヨン) (-kPa=-J kg ⁻¹)	体積含水率 θ (m ³ m ⁻³)		θ の変化量 (m ³ m ⁻³)	
0.0	0.1	0.5332	0.5872	0.0058	0.0224
1.0	1.0	0.5274	0.5648	0.0392	0.0942
1.5	3.1	0.4882	0.4706	0.0204	0.0304
1.8	6.2	0.4678	0.4402	0.0132	0.0090
2.0	9.8	0.4546	0.4312	0.0158	0.0164
2.3	19.6	0.4388	0.4148	0.0088	0.0076
2.5	31.0	0.4300	0.4072	0.0092	0.0080
2.7	49.1	0.4208	0.3992	0.0148	0.0102
3.0	98.0	0.4060	0.3890	0.0094	0.0092
3.2	155.3	0.3966	0.3798	-	-

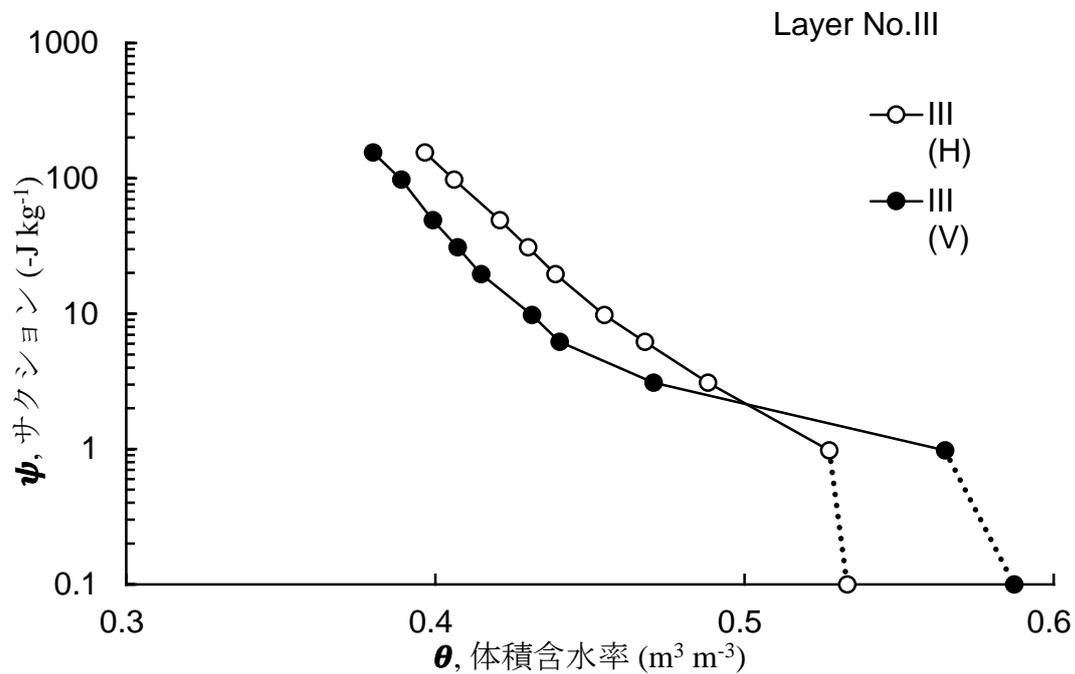


Fig.8-10 水分特性曲線

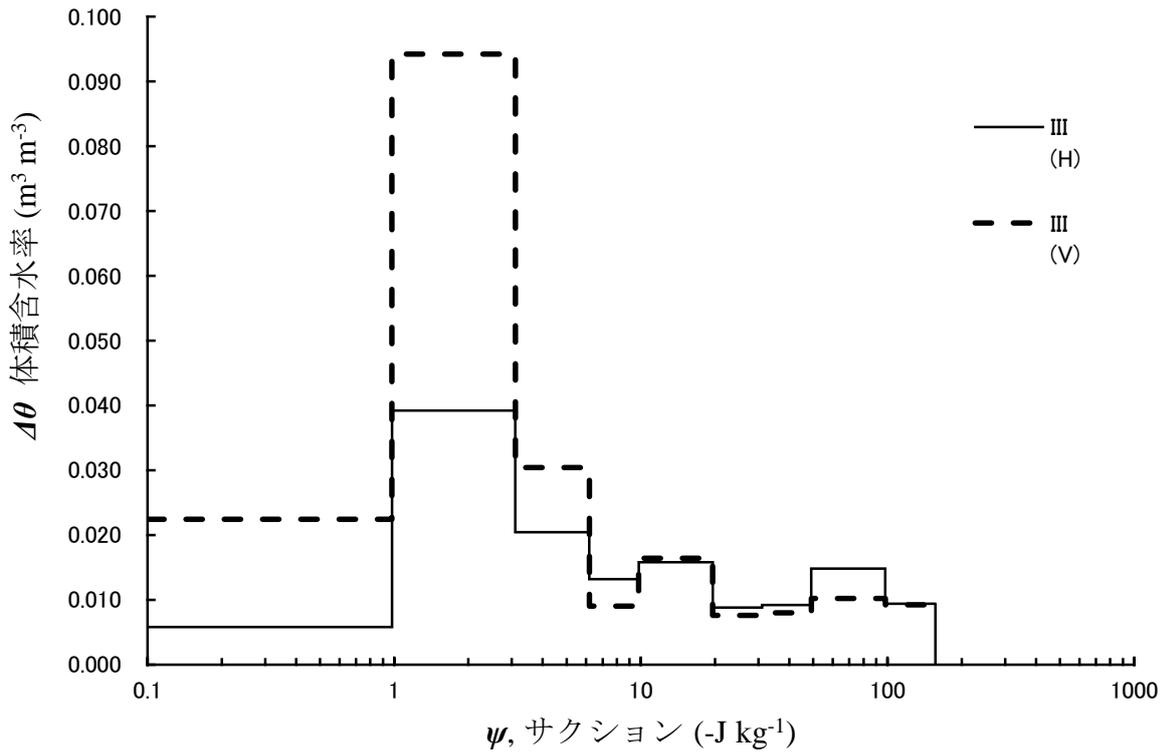


Fig.8-11 水分分布図

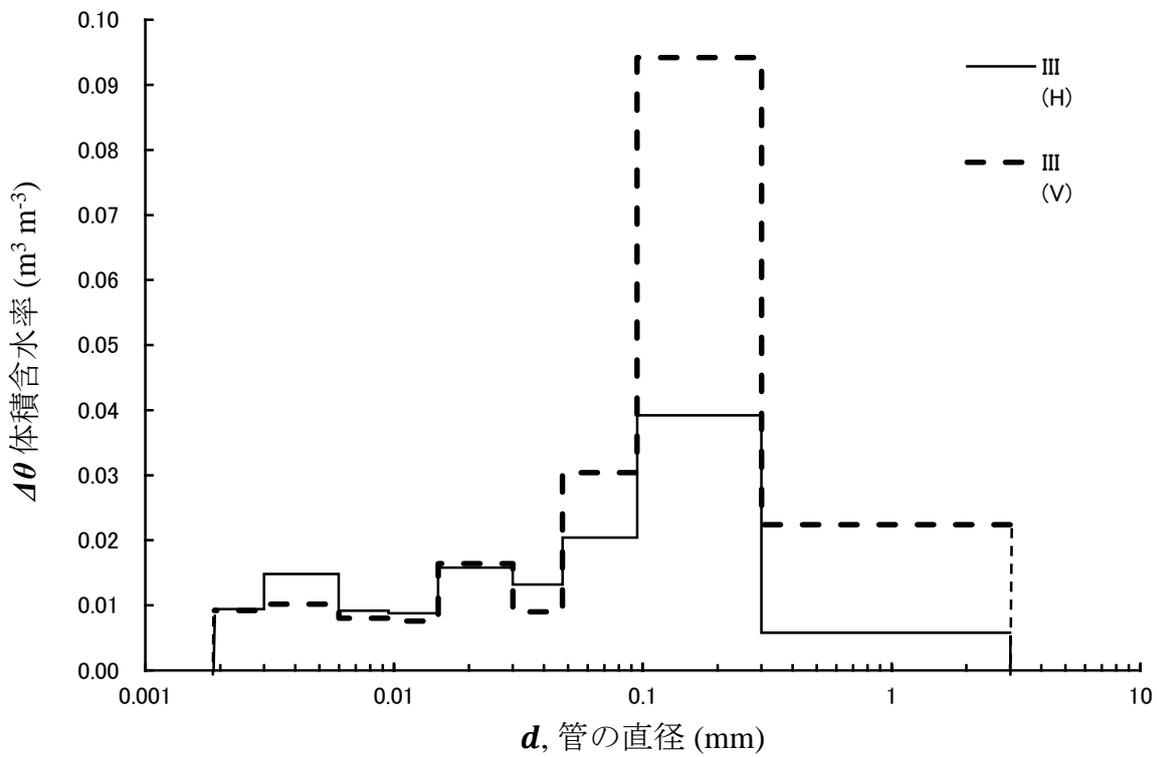


Fig.8-12 間隙径分布図

Table.8-4 pF 換算表

pF	水柱高さ (cmH ₂ O)	kPa	気圧	電圧ポンプの 設定値(SV)
0.0	1	0.1	0.001	-
1.0	10	1.0	0.010	10
1.1	13	1.2	0.012	13
1.2	16	1.6	0.015	16
1.3	20	2.0	0.019	20
1.4	25	2.5	0.024	25
1.5	32	3.1	0.031	32
1.6	40	3.9	0.039	40
1.7	50	4.9	0.048	50
1.8	63	6.2	0.061	63
1.9	79	7.8	0.077	79
2.0	100	9.8	0.097	100
2.1	126	12.3	0.122	126
2.2	158	15.5	0.153	158
2.3	200	19.6	0.193	200
2.4	251	24.6	0.243	251
2.5	316	31.0	0.306	316
2.6	398	39.0	0.385	398
2.7	501	49.1	0.485	501
2.8	631	61.8	0.610	631
2.9	794	77.8	0.768	794
3.0	1000	98.0	0.976	1000
3.1	1259	123.4	1.218	1259
3.2	1585	155.3	1.533	1585
3.8	6310	618.3	6.104	-
4.2	15849	1553.2	15.333	-

灌漑基準等でよく使用する pF 値

09. 強熱減量

強熱減量とは

強熱減量とは、炉乾燥した試料を「るつぼ」に入れマッフル炉で(750 ± 50)°Cに加熱し、加熱前後の質量の差から有機物の量を求める方法である。

準備品

るつぼ (Fig.9-1)	数個
耐熱手袋	1 個
トンダ	1 本
アルコール	
デシケーター	
電子天秤 (感度 0.001g)	1 台
マッフル炉 (Fig.9-2)	

操作方法

- 1) 試料をるつぼにそれぞれ約 10g ずつ入れ、約 24 時間炉乾燥する。この時の温度は105°Cとする。
- 2) 炉乾燥した試料をすり鉢で粉碎し、塊がなくなるようにする。
- 3) るつぼ全体をアルコールで湿らしたキムワイプ®で拭き、るつぼの質量をはかる。
- 4) るつぼに試料を入れて質量をはかる。
- 5) マッフル炉を使用する前は必ず空焼きを行う。この時、押しボタンを押して、タイマーを 2 時間にあわせ、つまみをまわす(Figs.9-3、9-4)。炉の中の温度が(750 ± 50)°Cになるまで待つ。空焼きの際は、時間を空けて数回様子を見に行く。
- 6) マッフル炉にるつぼを入れる。この時ふたを若干ずらし密閉しないようにする。
- 7) 2 時間加熱した後、大型トンダを使ってマッフル炉からるつぼを取り出す。この時、高温で危険なので、扉が開

く方に人がいないことを確認し、耐熱手袋を使ってマッフル炉を開く。

- 8) るつぼをデシケーターの中で 10 分ほど冷ます。



Fig.9-1 るつぼ



Fig.9-2 マッフル炉

- 9) 手で持てるほどにるつぼが冷めたら、るつぼの質量をはかる。
- 10) 6 と同様にくつぼをマッフル炉に入れる。
- 11) 1 時間加熱した後、るつぼをデシケーターの中で 10 分ほど冷ます。
- 12) るつぼの質量をはかる。
- 13) はじめに入れた試料の質量との差が±0.5%になるまで 10~12 を繰り返す。



Fig.9-3 マッフル炉のボタン



Fig.9-4 マッフル炉のタイマー

10.X線発生装置とX線の基本事項

目的

軟X線や造影剤とは何か？実験を行う前に、この項でX線とその発生装置の構造について理解し、以降の装置使用法と撮影の項目への理解を深める。

X線とは

【X線影像の原理】

X線影像は、被検体(土壤試料)内部の三次元に分布するX線吸収度の異なった物質の影を二次元的に投影したものである。これにより、試料内の土粒子や鉱物、間隙(気相)を明らかにして、土壤構造や間隙構造を知ることができる。

【X線の種類】

X線の中でも、一般に波長が長いものを「軟X線」、短いものを「硬X線」という。物質を構成する成分の原子番号によって透過性などの差異があり、土壤試料の透過撮影を行うには軟X線の波長が適している(下記で説明)ため、土壤構造の透過影像には軟X線を利用することがよいとされている。

軟X線発生装置

【構造】

装置は、主に軟X線管球、電子制御回路、鉄板・亜鉛で作られた防護箱で構成されている。軟X線管の基本的構造はFig.10-1に示すように、陽極と陰極が一直線上に対向して配置された二極真空管である。

X線は陰極から出た電子線がターゲット(陽極)に衝突する際に発生する。陰陽極間の管電圧がX線の波長(透過性)を決め、低い電圧(実験で用いる電圧10kV~60kV)では、透過力が低い長波長のX線(軟X線)が発生する。

ターゲットの有効焦点からX線は全空間に放射されるが、取り付けられたベリリウム製

放射窓により、方向が制限され、円錐状に放射される。

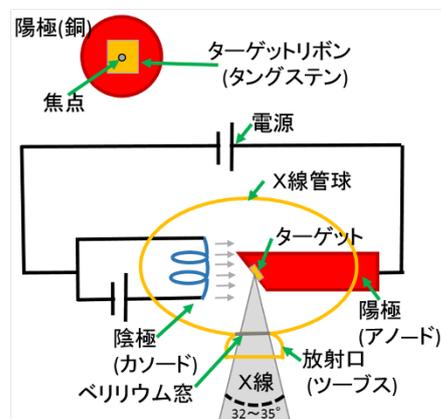


Fig.10-2 標準的な軟X線管球の構造

【ヒール効果による不均一分布】

放射されるX線束の一部は、ターゲット材に入り込み、陽極側の投影面に届くX線強度が減少する(ヒール効果)。このX線強度分布の偏りから投影面の濃度の不均一分布(シェーディング)が生じる。

それは焦点・フィルム間距離(FFD)を可能な限り長く取る(500~700mm)ことで解決できるが、焦点から離れる分だけ投影面のX線密度が減少し、照射時間が長く必要となるが、影像改善のために重要である。

軟X線の吸収原理

【減衰の三原則】

管球から放射されたX線は、被検体(試料)内を通過する間に、「①距離の逆二乗則、②物質内の吸収、③物質内の散乱」の三原則によって減衰する。

①は法則的に理解できるが、②および③は物質とX線が相互に関係し、土壤内の構成成分の変化も富み、影像化や精度に問題が生じる。

【軟X線の最適な計測条件】

前記②および③の影響を小さくするため、

最適な軟X線の発生条件を与える必要がある。

②物質内の吸収は、X線が60 kV以下の低エネルギー領域の場合、光電効果を主因として試料内の鉱物粒子によってX線が吸収され減衰する。強度分布の不均一や散乱線が生じるが、粗孔隙などの影像化および計測時には、ほぼ無視することができ、X線の直進性の特徴を前提とすることで解決できる。

③物質内の散乱は、X線が100 kV以上の高エネルギー領域でコンプトン効果による散乱と減衰により、投影面において散乱線の影響が強くなる。②に比べ、幾何学的関係が成り立たなくなってしまう。

また、Table.10-1から管電圧が高くなるほどX線影像から土壤中の各種構成成分の識別能(コントラスト)が低下していくことが分かる。よって管電圧を低くして(60 kV以下)、長波長の軟X線が投影面に多く到達することが最適な軟X線条件となる。

Table.10-1 土壤に関する主要物質の質量吸収係数 (単位:cm²/g)

物質	10keV	60keV	100keV	1MkeV
⁸ O	5.34	0.188	0.155	0.0636
¹⁴ Si	31.5	0.311	0.182	0.0635
²⁶ Fe	169	0.18	0.37	0.0598
¹³ Al	24.3	0.268	0.169	0.0614
²⁰ Ca	90	0.637	0.256	0.0637
¹¹ Na	14.4	0.232	0.158	0.0608
⁷ N	3.42	0.18	0.154	0.0636
⁶ C	2.06	0.174	0.152	0.0635
¹ H	0.384	0.326	0.294	0.126
⁵³ I	144	7.45	1.92	0.0579
⁸² Pb	84.6	3.55	5.46	0.0703
⁴ Be	0.554	0.148	0.133	0.0564
水(H ₂ O)	4.72	0.203	0.171	0.0706
空気	4.55	0.185	0.155	0.0635
max-min	168.616	7.302	5.327	0.0696

造影剤

【コントラストが生じる理由】

X線の投影面において、試料内の物質がX線を強く吸収した箇所は投影面では影となり明るく(白)、一方、あまり吸収しなかった箇所は暗く(黒)うつる。Table.10-1、2から土壤と孔隙(空気)の質量吸収係数の関係から係数の差異が小さく、明暗のコントラストが

分かりにくく、孔隙などの構造の把握は難しいことがわかる。

Table.10-2 アメリシウム(²⁴¹Am,エネルギー60keV)のγ線による各種土壤の質量吸収係数

(²⁴¹Amは軟X線の最短波長に対応)

土壤	μ/ρ(cm ² /g)
マサ土	0.3044
火山灰土	0.3308
洪積土	0.2795
沖積土	0.3134

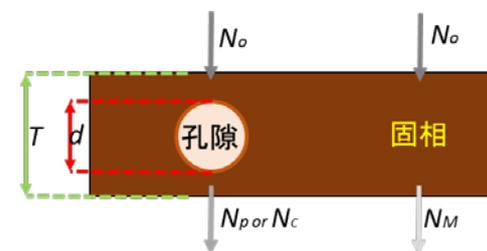


Fig.10-2 土壤の固相と孔隙のX線吸収モデル

土壤中のX線による孔隙影像

$$\Delta C = \frac{N_M - N_p}{N_o} = \exp(-\mu_M T) [1 - \exp\{(\mu_M - \mu_p)d\}]$$

ここで、

N_M : 土壤の固相を透過して投影面に達するX線光子数

N_p : 土壤の孔隙また固相よりもX線を吸収しやすい

部分を透過して投影面に達するX線光子数

N_o : 土壤に照射されるX線光子数

μ_M : 固相部分の線吸収係数 [cm⁻¹]

μ_p : 孔隙部分の線吸収係数 [cm⁻¹]

T : 土壤の厚さ [mm]

d : 孔隙内径 [mm]

ΔC : 透過率の差異、コントラスト

上記の式はX線による固相と孔隙部の透過率の差異、つまり影像のコントラスト(ΔC)を表している。この絶対値が大きいくほど孔隙や金属イオン、孔隙中の班鉄などの識別がしやすくなる。 ΔC が大きくなる要因とし

では $|\mu_M - \mu_p|$ が増加するか、 d が大きい場合がある。 μ_p や d が小さい場合は映像化が困難となるため、その対策として μ_p を μ_M よりできる限り大きく(間隙部が土壌部よりも暗い影)なるように制御する必要がある。

【造影剤の役割】

$|\mu_M - \mu_p|$ を増加させるため、 μ_p を増加(X線を吸収させ影を作る)させる働きをするのが造影剤(Contrast Agent, Contrast Media)である。造影剤を入れない場合、鉱物粒子が重畳している土壌(鉱物の質量吸収係数が高いため)や厚みのある試料(孔隙が重複するため)などの間隙構造を観察することが非常に難しい。そのため、孔隙に造影剤を注入し、フィルム面上では白く映像化することに有効である。

しかし、間隙が白、土粒子が黒では構造が読み取りにくいいため、現像あるいは画像化する場合に、明暗を逆転させて Fig.10-3、4 のように間隙部が黒く映るようにする。

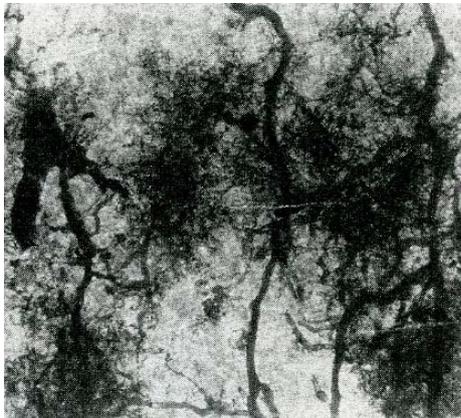


Fig.10-3 造影剤による土壌間隙(水平方向)

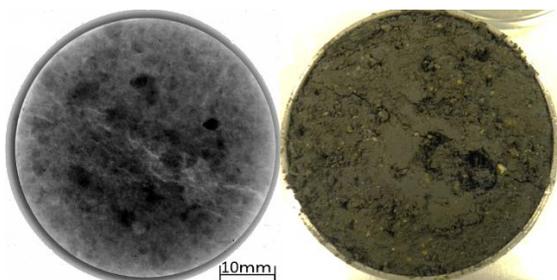


Fig.10-4 円筒試料の土壌間隙(鉛直方向)

【造影剤の種類】

間隙内を流動し土壌水の浸透や拡散の模擬実験に用いる水溶性剤と、土壌内では容易に移動しない高粘性の孔隙構造計測用油性剤(油絵具)などがある。

土壌内に班鉄が沈殿している場合は、造影剤を使用しなくても班鉄そのものが造影剤となってその部分を映像化させることはできる。

孔隙径の求め方

【半影の発生】

透過映像は X 線管焦点から試料(被検体)の距離によっては真影の周辺に半影(ボケ)が取り囲む幾何学的不鋭が発生する。

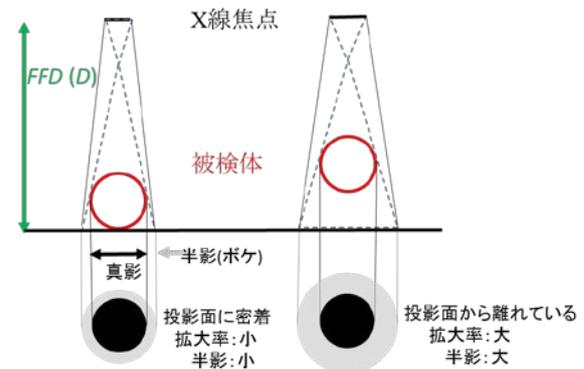


Fig.10-5 X線焦点と真影、半影の関係

【孔隙径】

焦点と被検体との間の距離は、幾何学的位置関係によって映像の大きさにも影響する。透過映像は Fig.10-5 のように焦点寸法 e と実孔隙寸法 Δa の関係によって拡大、または縮小した映像となる。試料内の任意の位置における Δa と真影部分の映像寸法 A との関係は次式となる。

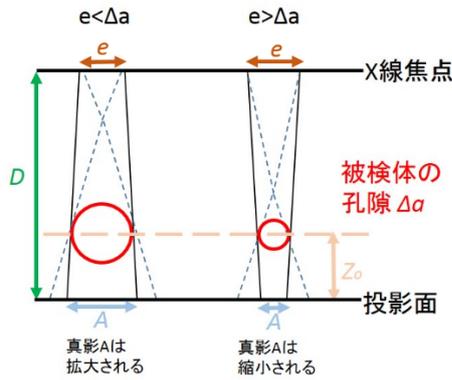


Fig.10-6 焦点・孔隙・影像の関係

$$\Delta a = A + \frac{(e - A)Z_0}{D}$$

ここで、

Δa : 実寸孔隙寸法

A : 映像寸法(真影)

e : 焦点寸法

Z_0 : 試料の投影面からの高さ

D : X 焦点・投影面間距離(FFD)

撮影試料の作成

【攪乱試料】

粘性土などの崩れにくい試料は4面を保持できる型枠内に詰めるが、砂などの崩れやすい試料は X 線吸収の小さい容器(アクリル製など)に詰めて撮影試料とする。

【不攪乱試料】

崩れにくい土の場合、切削して所定の寸法に整え、そのまま試料とする。崩れやすい土の場合、現場で型枠を用いて打ち抜く方法もある。

これらの試料は、採取場所の鉛直・水平方向が分かるようにマークをしておき、試料土の孔隙開口部を塞がないようにカッターなどの鋭利な刃で切削して保存しておく。

土壌孔隙の分類

軟 X で撮影される孔隙は、一般的に次の①～⑥に分類される。

①詰まり合った一次粒子相互間

②構造単位の粒団の中

③詰まり合った構造単位の粒団の相互間

④土壌の乾燥収縮によって生成した亀裂

⑤植物根の腐朽孔

⑥地中に生息する虫や動物の通行などによって形成された大穴

この中で①～③は ped(粒子の集合体)内あるいは隣り合った ped 間の間隙であり、一般に土壌の「間隙構造」と認識され、①～③の順で増大し、幾何学的複雑さも増していく。

④～⑥は上記に比べて大きな間隙で、流体の移動速度は非常に大きく物質の移動形態も異なる。肉眼観察では間隙と比べると数量は少なく見えるが、土壌の物理性への影響は極めて大きい。④～⑥を孔隙と呼ぶ。

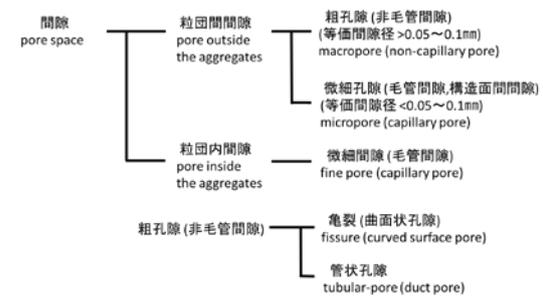


Fig.10-7 土壌孔隙の分類

亀裂は土層の水平・鉛直方向に進展する曲面状の孔隙で、管状孔隙は円孔断面、それに類似した断面をもった管状の連続的な孔隙である。

大きさは、亀裂の方が大きいですが、存在する密度は管状孔隙が卓越しており、土壌の構造性発達に影響が大きいと推定される。

参考文献

- ・成岡市(1986): 軟 X 線映像による土壌孔隙の立体計測法の開発
- ・成岡市(1987): 軟 X 線による土の孔隙の撮り方
- ・成岡市(1990): 土壌の粗孔隙の計測法とその物理的機能に関する研究
- ・成岡市・本間秀明(1991): 土壌構造と軟 X 線
- ・成岡市(1991): 軟 X 線映像による土壌孔隙

の立体計測法

・ Table.10-1

成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟 X 線
p134、表-2 Am による各種土壌の質量吸収
係数

・ Table.10-2

成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟 X 線
p134、表-3 土壌に関係した主要物質の質
量吸収係数

・ Table.10-3

成岡市(1990):土壌の粗孔隙の計測法とその
物理的機能に関する研究 p4、Table1
Classification of Soil Pores

・ Fig.10-1

成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟 X 線
p2、図-1 標準的軟 X 線管球の構造

・ Fig.10-2

成岡市(1986): 軟 X 線映像による土壌孔隙の
立体計測法の開発 p30、図-1

土壌の固相と孔隙の X 線吸収モデル

・ Fig.10-3

成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟 X 線
p4、写真-1 南関東立川ローム層の管状間
隙影像

・ Fig.10-4

四日市市水沢地区浄水センター前実験畑に
おいて採取した円筒試料と軟 X 線影像
「N17010707」

・ Fig.10-5,6

「成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟 X 線
p2、図-2 X 線映像の拡大とボケ」と「成岡
市(1986): 軟 X 線映像による土壌孔隙の立
体計測法の開発 p30、図-5 焦点・孔隙・映
像の関係」

11.軟 X 線撮影装置のエイジング法

目的

エイジングは自動車などの暖機運転に相当する。長期間軟X線装置を使用していない場合、突然高い電圧を掛けると、X線管球に大きな負荷がかかり損傷することがある。エイジングによってX線管球の寿命を伸ばすことができる。また、X線管球内の真空度が上がり、出力が安定化する。

準備

【軟X線装置使用前の準備】

装置の横にかかっている軟X線ノートに記録を書く。書き方はノート中のフォーマットに従う。軟X線制御装置の前面にあるアワーマーター(Fig.11-2)の値を使用前の値として記述する。

【装置の準備】

- 1) TIMERボタンが上がっている(OFFになっている)事を確認する(Fig.11-3)。
- 2) 電流つまみ、電圧つまみを一番左まで回す(Fig.11-4)。
- 3) 左側にあるトグルスイッチをmanualに合わせる(Fig.11-5)。
- 4) 電源、コード類が正しく接続されているか確認する(Fig.11-6)。
- 5) 軟X線発生装置の扉を開け、内部に異常が無いことを確認する(Fig.11-7)。
- 6) 軟X線装置の周囲に、水やオイル漏れなどの異常が無いことを確認する。
- 7) 現像機の裏側にあるコンセントのうち、X-RAYの札のかかったコンセントの方を差し込む(Fig.11-8)。
- 8) 主電源(装置背面)をONにする。

る。



Fig.11-3 装置全体図



Fig.11-4 アワーマーター

操作方法

【軟X線装置のエイジング】

- 1) キースwitchを入れ、15分ほど放置する。
- 2) TIMERスイッチを押し、タイマーを60sに合わせる。
- 3) 電流つまみを0mA、電圧つまみを10kVにセットし、X-RAYボタンをONにする。
- 4) 電流と電圧がわずかにずれるので、つまみを回して調整する。このとき、電流を優先して調整する。60秒後に装置は止まる。
- 5) 電流を0mAに固定したまま、電圧を10kV、20kV...60kV と10kVずつ上げて、3、4の作業を行う。

- 6) 3～5の作業を電流1mA、1.5mAでもそれぞれ行う。

【終了作業】

- 1) キースイッチをOFFにする。
- 2) キーを抜く。
- 3) 主電源をOFFにする。
- 4) コンセントのプラグを抜く。
- 5) アワーマーターを読み、使用後の値を装置の横にかかっている軟X線ノートに記録する。



Fig.11-3 TIMER ボタン



Fig.11-4 電流つまみと電圧つまみ



Fig.11-5 トグルスイッチ(下方向へ合わせる)



Fig.11-6 装置の裏にあるコネクター類のコード



Fig.11-7 軟 X 線発生装置の内部



Fig.11-8 コンセント

【注意事項】

- ・軟X線装置を長時間使用するとオゾンが発生し生魚のような悪臭がすることがある。害は無いが、念のため換気をする。
- ・長時間、軟X線を使用すると、管電流が減衰してくるので注意する。
- ・電流が0mAの時はどれだけ電圧を上げてもX線は発生しない。

デジタル軟X線撮影装置 “NAOMI NX” 準備

【センサーの準備】

- 1) ACアダプタとUSBケーブルをセンサー(Fig.11-9)につなぐ。
- 2) 下げ振りを使って管球の真下に装置の中心がくるように合わせる(Fig.11-10)。
- 3) 水準器を用い、センサーの水平を確認する。
- 4) センサーとコンピュータのコンセントを入れる。
- 5) パソコンを起動する。
- 6) センサーのランプ(Fig.11-11)がついていることを確認する(右から電源、USB接続、スタンバイ、コンプリート)。
- 7) デスクトップにあるNXアイコンをダブルクリックしたソフトウェアを起動する(Fig.11-12)。

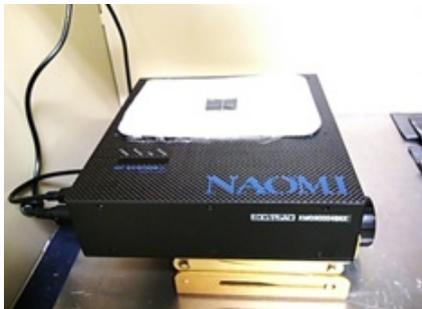


Fig.11-9 NAOMI センサー

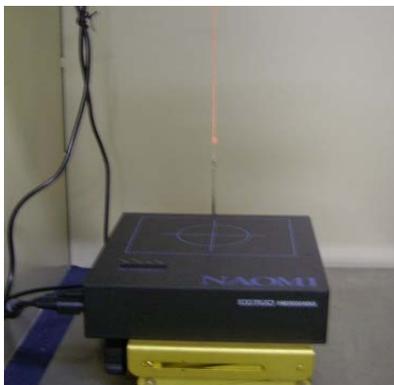


Fig.11-10 中心合わせ



Fig.11-11 状態表示のランプ



Fig.11-12 起動時の画面

操作方法

【撮影手順】

- 1) メニューバーにある設定アイコンをクリックする。
- 2) 設定画面が出るので、「全般」タブの「その他」の項目にある「露光時間」を設定し、[OK] をクリックする(Fig.11-13)。
- 3) メニューバーの撮影準備をクリックする。
- 4) ファイルを保存するフォルダ、ファイル名を入力する(Fig.11-14)。
- 5) X線装置の基盤で設定した電圧と電流を入力する。
- 6) 2)で設定した露光時間を入力する。
- 7) 「撮影開始」をクリックする。
- 8) 7)操作の直後、基盤の[ON]を押し、X線を照射する(Fig.11-15)。
- 9) 7)の操作を行うと、画面に「X線を照射してください」とい

うウィンドウが出る。これが閉じて画像の読み込みが始まったら、基盤の[OFF]を押し、X線の照射を止める。

【ファイルの変換】

上記の撮影手順の後DCM形式でファイルが保存される。

※これがオリジナルのファイルなので画像の修正等は行わないこと。

撮影した画像の修正には他のソフトを用いるので、汎用的な形式に変換したファイルを作成する。

- 1) メニューバーの「名前を付けて保存」をクリックする。
- 2) ファイル形式をTIFとし、同名のファイルを保存する(Fig.11-16)。



Fig.11-13 露光時間の設定

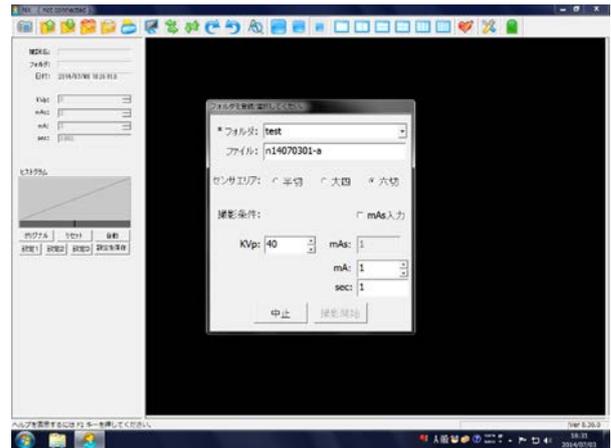


Fig.11-14 撮影条件の入力

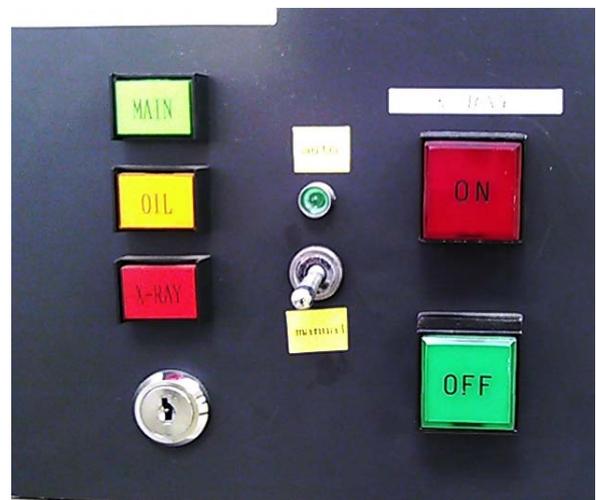


Fig.11-15 X線照射のON/OFFボタン

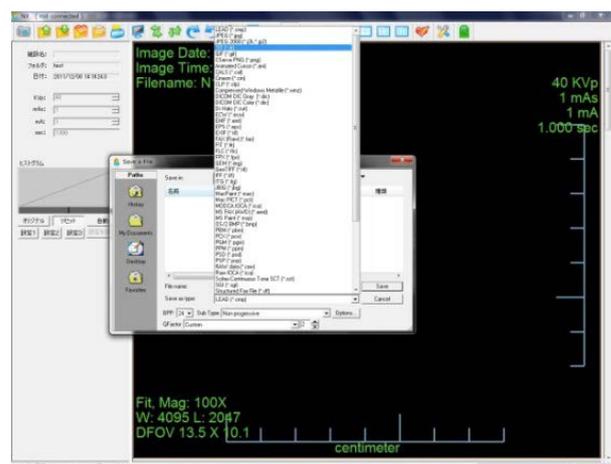


Fig.11-16 TIF形式での保存

12.軟X線撮影方法

【撮影用X線フィルムの作成】

準備道具

- 撮影用X線フィルム(フジフィルムFR)
- フィルムカバー(黒いビニール)
- 手術用曲がりはさみ
- 裁断器
- セロテープ

フィルム加工

- 1) フィルムにほこりなどが付くと映像に影響する。そのため、撮影を始める前に実験室床とグローブボックス、撮影装置、現像装置のほこりを掃除して取り除いておく。
- 2) グローブボックス内(Fig.12-2)にフィルム、フィルムカバー、ハサミ、裁断器を入れる(Fig.12-3)。フィルムに光が当たると劣化するため、手探りで作業するため、配置を記録しておくといよい。
- 3) グローブボックスを暗室状態にして、フィルムの箱からフィルムを取り出し、裁断器で半分に裁断する。フィルムには両面に保護シートが付いており、手がフィルム表面に触れないように注意しながら、ハサミでフィルムの角を丸く切る(Fig.12-5)。
- 4) 加工したフィルムをフィルムカバーの中に入れる。保護シートの付いたままカバーに入れ、シートだけを抜き取る。フィルムを入れたカバーは光がフィルムに当たらないように、端を折り畳み、セロテープで止める。
- 5) フィルムは取り出してしまうと長期の保存が効かないため、必要な枚数分だけ2)、3)の作業を繰り返す。

※手探りの作業はケガをする危険があるため注意が必要。あらかじめ、明室の状態での練習をしておくといよい。



Fig12-1 撮影用フィルム



Fig12-2 グローブボックス(暗室)



Fig12-3 グローブボックスの中



Fig12-4 手探りで作業中



Fig12-5 フィルムの角を加工した状態

【撮影準備】

円筒試料をX線撮影する際には、下記の表 (Table12-1) の条件に合わせて撮影する。現像されたフィルムを見て、影が薄すぎた場合には電圧と電流を強くして撮影を行う。しかし、強くし過ぎると影の濃淡が判断できなくなってしまうため注意が必要である。

撮影時間は、試料の乾燥密度を予め求めておき、下記の図 (Fig12-6) を参考にして決める。

Table12-1 X線撮影の条件

実効焦点寸法	1.0×1.0mm 以下
FFD(焦点距離)	500mm
試料厚	27~33mm
管電圧	60kVp
管電流	3mA
照射時間	下記の図
X線フィルム	フジフィルムFR (フィルム背面に0.03mm亜鉛)
現像時間、温度	5min, 20℃

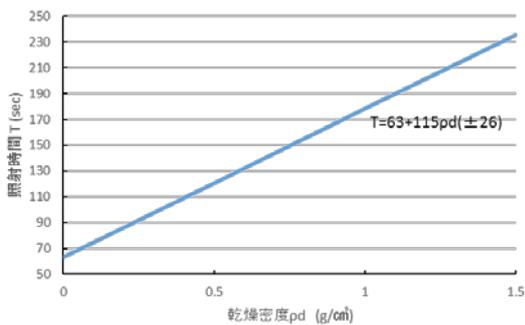


Fig12-6 乾燥密度と軟X線照射時間の関係

【撮影】

- 7) 撮影したフィルムが混合するのを防ぐため、増感紙と両面テープで作成したリボンを作成する (Fig12-8)。リボン(両面テープ)の上に酸化鉛で作られた番号のフィルムマークを貼り、試料と共に

撮影し、フィルムからどの試料が把握できるようにする。

- 8) エイジングが完了したX線装置内部にあるジャッキの高さをFFD(Film Focus Distance)に、中心軸をジャッキの印に合わせて調節する (Fig12-9)。
- 9) ジャッキの上にカバーされたフィルム、試料、リボンを置く (Fig12-11)。

試料が円筒試料の場合、両面の蓋を外しておき、フィルムとの設置面にはラップを引くようにする。ラップは撮影を阻害しないために塩化ビニルではないものを用いる。

- 10) 電圧を60kVp、電流を3mA、照射時間を図から求めて設定し、X線装置を作動させる。
- 11) 時間経過後、自動で切れた装置からフィルム、試料、リボンを取り出す。



Fig12-7 酸化鉛のフィルムマーク



Fig12-8 フィルムマークを貼り合わせたリボンの作成



Fig12-9 中心軸の調整



Fig12-10 撮影試料(ポリスチレンケース)

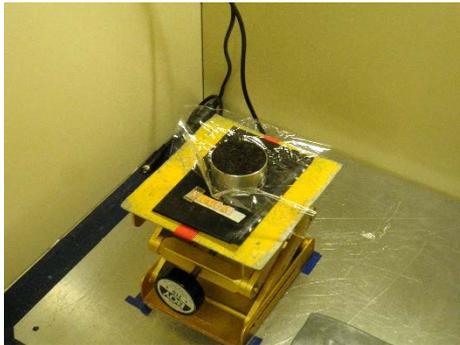


Fig12-11 試料の設置

【現像】

- 1) 現像機(Fig12-12)のコンセントを刺し、電源を入れる。左右のダイヤルを回し、「温度は30℃、速度は3」に設定して作動させる。
- 2) 黒色カバーに入ったままフィルムを現像機の中に入れ、光が入らない状態でカバーから取り出す。
- 3) 取り出したフィルムをできるだけ指で触れずに現像機内の取り込み口に長辺を入れる。
- 4) 5分ほどで現像させたフィルムが出て来るので、回収し、映り具合を確認する。

- 5) フィルムを洗濯ばさみで紐に止め、一日中乾かす。



Fig12-12 現像機



Fig12-13 フィルムの挿入口



Fig12-14 乾かしているX線フィルム

【試料の管理表】

撮影されたフィルムはフィルムホルダー(X線ファイル)の中に保存する。フィルムと一緒に撮影条件などが書かれた下記の表(Fig12-15)を入れることで、第三者でも管理していくことができる。

[軟 X 線撮影記録]

フィルム番号 :
フィルム形式 : FR
試料名 :
試料状況 :
撮影日 :
管電圧(kV) :
管電流(mA) :
照射時間(sec) :
FFD(mm) : 500
造影剤(浸剤法) :
位置 :
備考 : **撮影者名前**

Fig12-15 フィルム管理タックシールの例

13. 軟X線フィルム影像のデジタル画像化

目的

軟X線撮影において、検出器にX線フィルムを用いた方法では、X線フィルム上にアナログ影像として投影される。このアナログ影像は、そのままではコンピュータによる画像解析を行うことが困難である。そこで、このアナログ影像(フィルム)を、コンピュータによる画像解析が可能なデジタル画像(JPEG等)に変換する必要がある。

また、一般にX線フィルムは透過光による読影に対して最適化されているため、反射光による読み取りでは、画像解析を行うために必要なコントラストが得られないことがある。ここでは、X線フィルム上に投影された軟X線影像を、十分なコントラストを持ったデジタル画像に変換する手順を示す。

準備品

X線フィルム

フジフィルム社製 IX-FR

簡易透過フィルムユニット(Fig.13-1)

ライトボックス

コクヨ社製 TY-LT13 (Fig.13-2)

フラットベッドスキャナ

エプソン社製 GT-X750 (Fig.13-3)

スキャナドライバ

エプソン社製 EPSON Scan ver.3.24J

※以上で示した各器材は、互換性があれば他のものに交換可能である。

※フィルムユニット(Fig.13-1)は厚紙などを Fig.13-4 のように加工して作成する。

実験方法

【X線フィルムの設置】

軟X線影像が投影されたX線フィルムを以下の手順に従って設置する。その設置

方法を Fig.13-4 に示す。

- 1) 簡易透過フィルムユニットに設けた

フィルム窓にあわせてX線フィルムを貼り付ける(Fig.13-4-①)。

- 2) X線フィルム表面およびフラットベッドスキャナの透明ガラス面に付着した埃や油脂などの汚れを丁寧に除去する。

- 3) X線フィルムがフラットベッドスキャナの透明ガラス面に密着するように透過フィルムユニットを配置する(Fig.13-4-②)。

- 4) フラットベッドスキャナの透明ガラス面の右上隅に透過フィルムユニットの右上隅を合わせる。

- 5) 透過フィルムユニット全体を覆うように、ライトボックスを載せる(Fig.13-③)。

- 6) ライトボックスの光量を最大にする。透過光から画像を読み取れるようにスキャンする。



Fig.13-1 簡易透過フィルムユニット



上 Fig.13-2 ライトボックス



下 Fig.13-3 フラットベッドスキャナ

- 1) 簡易透過フィルムユニットに設けたフィルム窓にあわせて X 線フィルムを貼り付ける(Fig.13-4-①)。
- 2) X 線フィルム表面およびフラットベッドスキャナの透明ガラス面に付着した埃や油脂などの汚れを丁寧に除去する。
- 3) X 線フィルムがフラットベッドスキャナの透明ガラス面に密着するように透過フィルムユニットを配置する(Fig.13-4-②)。
- 4) フラットベッドスキャナの透明ガラス面の右上隅に透過フィルムユニットの右上角を合わせる。
- 5) 透過フィルムユニット全体を覆うように、ライトボックスを載せる(Fig.13-③)。
- 6) ライトボックスの光量を最大にする。
- 7) 透過光から画像を読み取れるようにスキャンする。

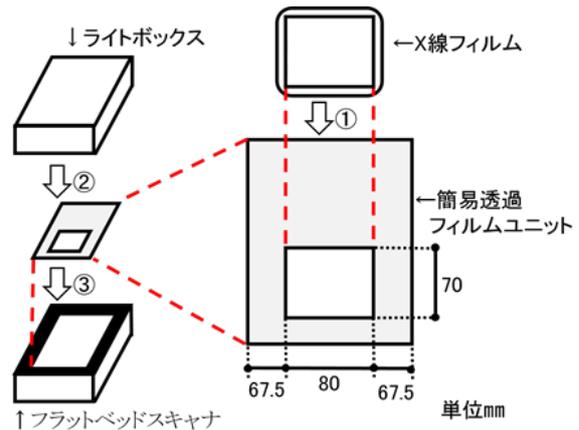


Fig.13-4 X 線フィルムの設置方法

【X 線フィルムのスキャン方法】

X 線フィルムのスキャンにあたっては、「モード(M)」で「プロフェッショナルモード」を選択し、以下の手順で設定を行い、スキャンする。

- 1) 主操作画面(Fig.13-5)で、「原稿設定」、「出力設定」および「調整」の設定を行う。その設定内容を Table.13-1 に示す。
- 2) 「調整」の「ヒストグラム調整」ボタン(Fig.5-④)を押下し、「ヒストグラム調整」画面を開く。
※ヒストグラム調整を選択できない場合がある。その際、3~4 の過程を省略して進めていく。
- 3) 「ヒストグラム調整」画面(Fig.7-6)の「入力(I)」バーおよび「出力(O)」バーの黒いツマミおよび白いツマミを移動し、黒いツマミが最小値の 0 に、白いツマミが最大値の 255 になるようにそれぞれ設定する。



Fig.13-5 主操作画面

Table.13-1 「原稿設定」, 「出力設定」 および 「調整」 の設定内容

画面	設定項目	設定内容
Fig.13-5-①	原稿種(Y)	「反射原稿」を選択する
	取込装置(U)	「原稿台」を選択する
	自動露出(X)	「写真向き」を選択する
Fig.13-②	イメージタイプ(I)	「16bit グレー」を選択する
	品質	「画質優先」を選択する
	解像度(L)	「1200 (dpi)」を選択する
Fig.13-5-③	アンシャープマスク (K)	チェックを解除
	モアレ除去(E)	チェックを解除
	退色復元(R)	チェックを解除
	逆光補正(B)	チェックを解除
	ホコリ除去(D)	チェックを解除

- 4) 「トーンカーブ表示」に表示される線が左下および右上を結ぶ直線として表示されていることを確認し、「閉じる」ボタンを押下する。
- 5) 主操作画面に戻った後、「プレビュー(P)」ボタン(Fig.13-5-⑤)を押下し、「プレビュー」画面を表示する。
- 6) 「プレビュー」画面で、スキャン範囲がフィルム FR の範囲になるように選択し、「ズーム」ボタンを押下する(Fig.10-7)。
- 7) 選択した範囲が拡大されて「ズーム」タブに表示されるので、この範囲を微調整し、主操作画面の「スキャン(S)」ボタン(Fig.13-5-⑥)を押下する。
- 8) 表示された「保存ファイルの設定」画面(Fig.13-8)の「ファイル名」に保存するファイル名を適宜入力し、「保存形式」を「TIFF(*.tif)」に設定する。
- 9) 「OK」ボタンを押下し、スキャンする。

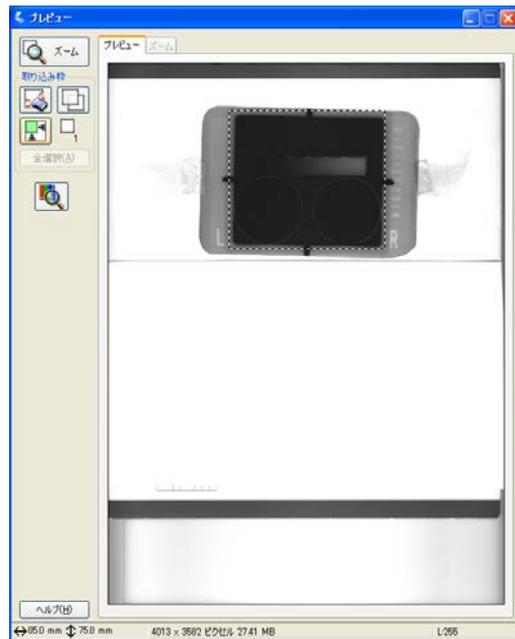


Fig.13-6 ヒストグラム調整画面

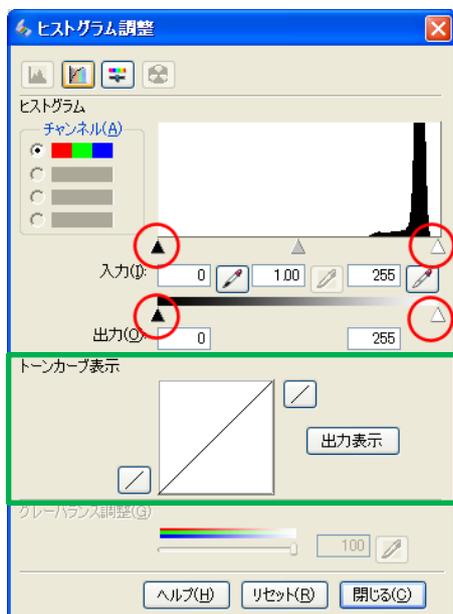


Fig.13-7 プレビュー画面

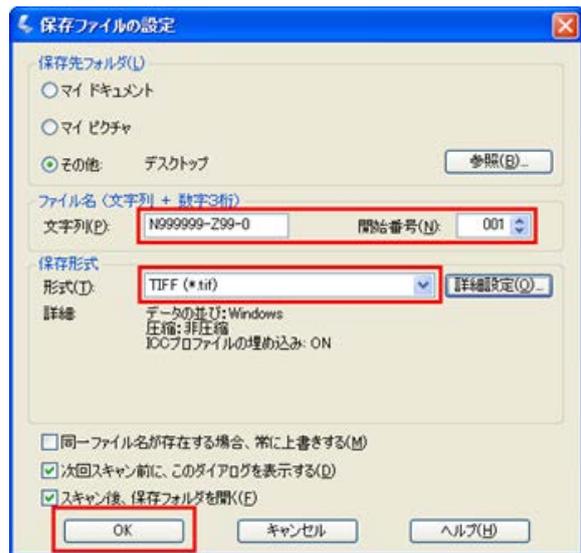


Fig.13-8 保存ファイルの設定画面

【軟 X 線画像の成形方法】

スキャンして得た軟 X 線画像から、画像編集ソフトウェアを用いて、必要な箇所を抽出し、これを画像解析に供する。

その形状などは、画像解析の処理内容に応じるが、概ね以下のようにする。ただし、実際に画像解析を行う場合には、画像解析プログラムが要求する仕様に供試画像を合致させること。

- 1) 抽出する画像の形状は、正方形または長方形の矩形とする。
- 2) 抽出する画像の中心と、試料の中心を合致させる。
- 3) 抽出する画像の各辺の画素数は、2 の倍数とする。
- 4) 保存ファイル形式は、16 ビットグレースケールの TIFF 形式とする。

参考文献

廣住豊一・黒澤俊人・成岡市 (2011): 土壌構造評価のための軟 X 線画像法—軟 X 線画像法の開発とその適用例—。土壌の物理性, 119:3-15

14. 軟 X 線画像解析法

目的

軟 X 線画像(BMP 形式)を画像解析によって、各ピクセルの濃度階調値を求めることができる。この濃度階調値によって土壌基質密度の差異を判別でき、標準偏差、変動係数、孔隙管径を求めることができる。

使用ソフト

- ・ Jtrim
- ・ BMP-JPG こんばーちゃ
- ・ BMP2CSV

(上記フリーソフト、インストール済み)

- ・ Photoshop(CS2 版インストール済み)

ソフト説明

- ・ Jtrim

軟 X 線フィルム画像を正方形に加工。

- ・ BMP-JPG こんばーちゃ

JPEG 形式画像を BMP 形式画像に変換。

- ・ BMP2CSV

画像(BMP 形式)の各画素の色を表計算ソフトで扱える数値データ(csv 形式、エクセル)に変換。

BMP 形式

小さな正方形(ピクセル)の集合体で表されている画像形式。一つ一つのピクセルに色などの情報が与えられている。

色は赤(R) / 緑(G) / 青(B)の3つに分割され、それぞれの濃度が 0~255 の全 256 段階で表される。白が「R:255 / G:255 / B:255」、黒が「R:0 / G:0 / B:0」の加法混色によって、表現

される。画像解析を行う際には R、G、B のどれか一つ(どれでも可、全て統一)を選び解析する。

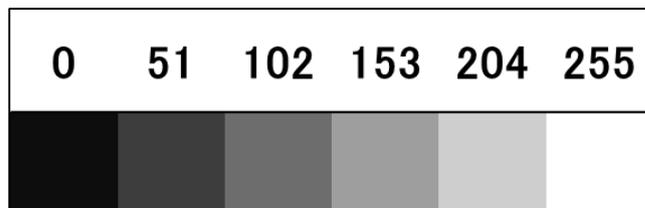


Fig.14-1 濃度階調値と表される色

作業過程

- 1) 撮影した軟 X 線フィルムを 13. を参考に、スキャナーでデジタル画像(JPEG 形式)として取り込む。

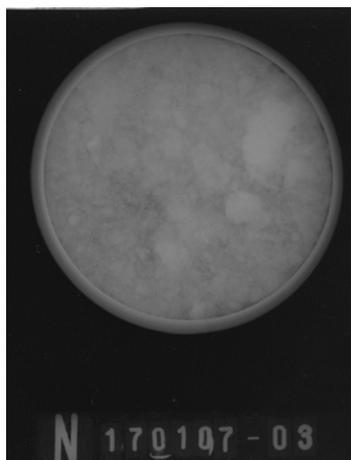


Fig.14-2 軟 X 線フィルム(JPEG 画像)

- 2) 取り込んだ画像の画像解析を行いたい箇所を「Jtrim」などを用いて正方形にトリミングする。
- 3) 孔隙などの土壌基質が少ない箇所を視認しやすくするため、「Photoshop」などを用いて濃度反転をする。これにより黒く映っていた土壌基質が少ない箇所(孔隙)が白く映る。

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。

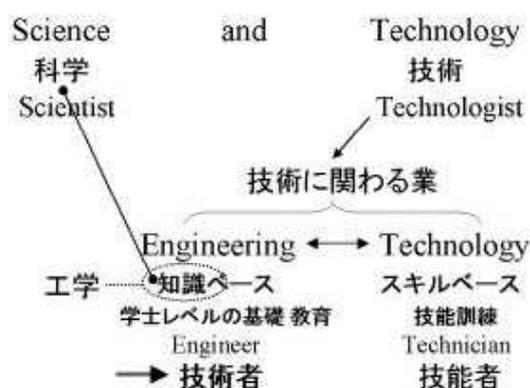
科学 Science と技術 Technology は全く別物である。誰でも検証し再現できる知識 verifiable knowledge の体系である科学は、まだ歴史が浅い。事実だけに忠実な近代科学の歴史は 300 年に満たない。

一方技術は、人類の歴史とともにあった。今日的に言えば、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立って、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(ようてい)(注;物事の大切な点)によっ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、追従、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、その先端を教授するほか、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知恵は、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ふべきである。

*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なければならない。

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で、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、研究の意想・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みることがある。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。詳しければ詳しいほど、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、自分の研究がまとめ、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無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、かつわかり易く伝えるためには、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、しかも内容が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らない。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こう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。その言葉とおりに、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つた。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つた。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、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

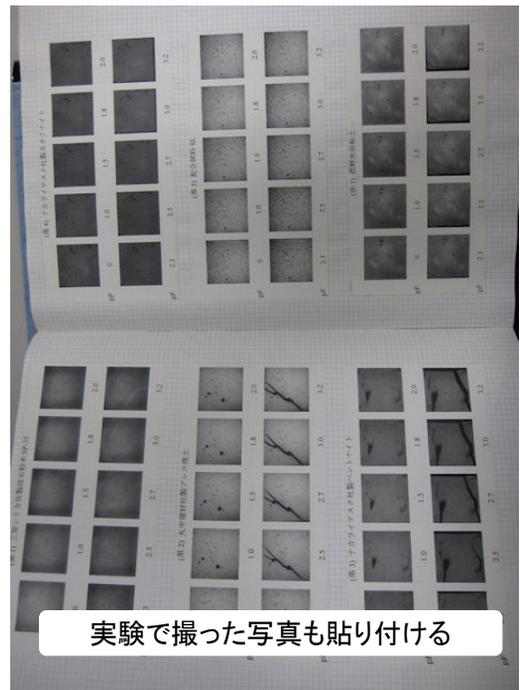
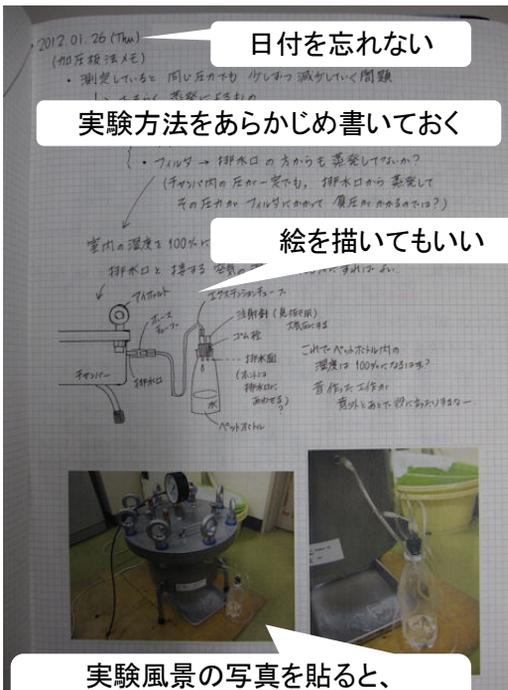
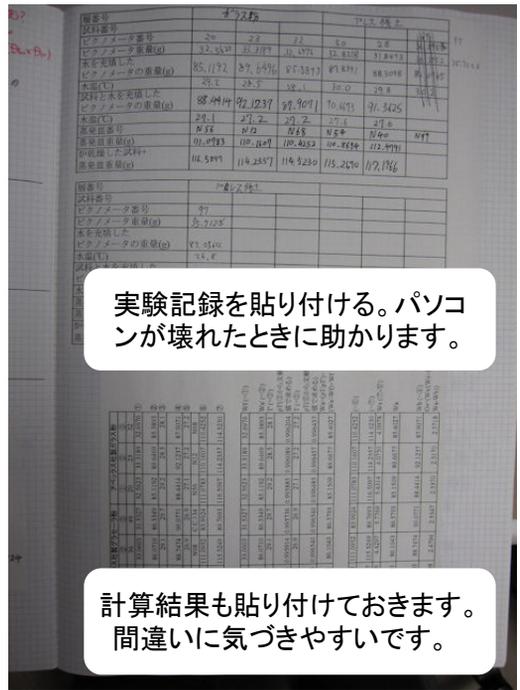
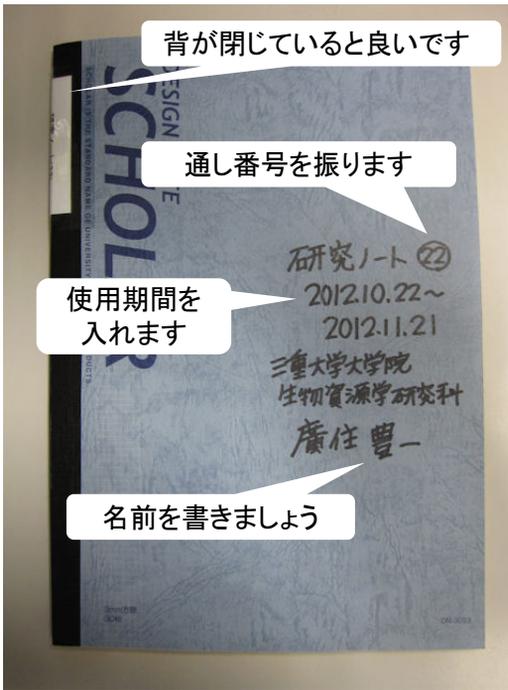
- 製本されたノートを使う。ルーズリーフは使わない。

- 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。

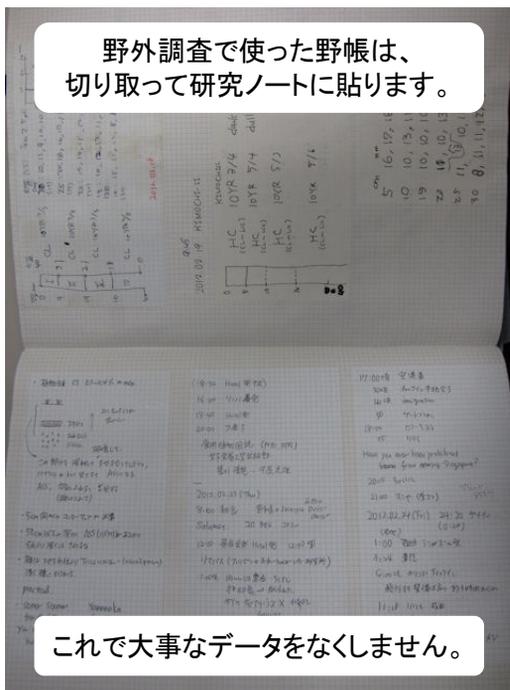
※この例は私の場合です。研究ノートの作り方は、個人や研究室ごとに流儀があります。卒業研究を始める前に、先生や先輩と相談してください。また、自分で工夫して、改良してください。

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。

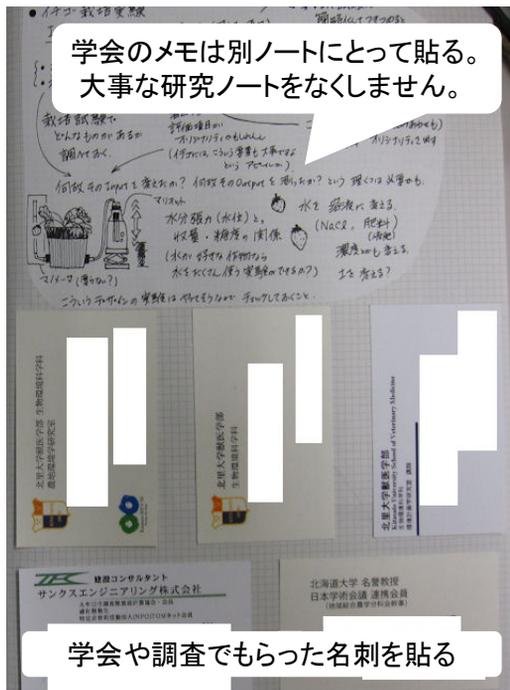
野外調査で撮った写真も貼ります。調査の情報を思い出しやすい。



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）

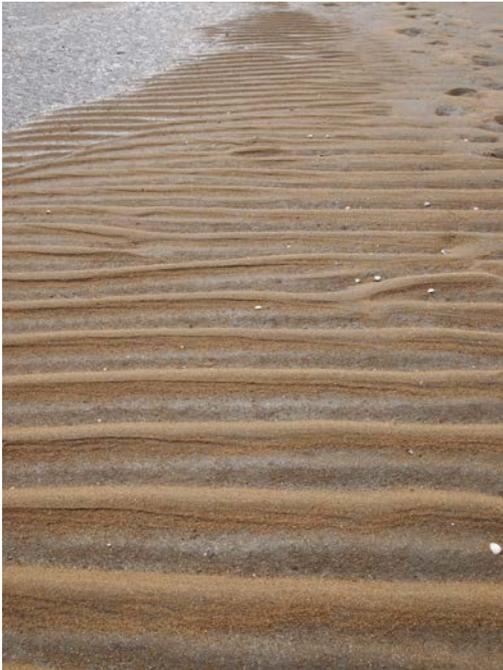
地層（土層）間の年代を比較し特定するための特徴的な堆積層。距離が離れていても同一時期に堆積した地層。侵食作用を受けるため水平方向に連続しない場合が多い。離れた 2 点間の地層の生成年代を対比し、連続性を判断する際に重要な指標となる。

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)



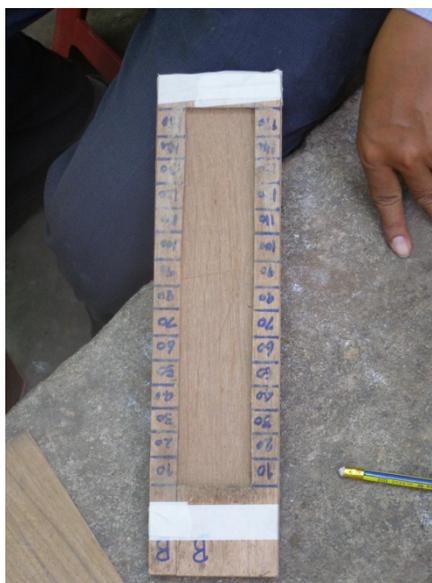
(20) 木枠底面にエポキシ樹脂塗布



(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) 出来上がった土壤断面標本（モリス）の周囲に必要なデータ（場所、採取日、土壤シリーズ、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)

農地工学研 実験マニュアル 平成 29(2017)年版

平成 29(2017)年 10 月 1 日

編集・発行 三重大学 生物資源学部 共生環境学科
農業土木学講座
農地工学教育研究分野

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