

IV 土壤化学性

●本章内の注意・補足事項

1) 重量／容積% (w/v%) による各種溶液調製法の簡略化

例えば、10%KCl液はKCl 100gを水に溶かして、計1Lとする（または、1Lに定容する）という操作が正式である。しかし、この通りにするのはやや煩わしいので、厳密に濃度調整をする必要がない場合は、実際に加える水の量をあらかじめ調べておき、以降は単に水の一定量を加えるようにした方が簡単である。したがって、本章では、「KCl 100gを水960mLに溶かす（計1L）」という調製法を多く用いている。また、濃度が低い場合は、例えば、「試薬10gに水1Lを加えて溶かす（=1%）」、という調製法も用いている。

2) 定容（メスアップ）操作の簡略化

発色時や原子吸光時に、大量のサンプルを標線まで正確に水を加えて定容するのは手間がかかる。したがって、それほど厳密に測定する必要がない場合は、マイクロ（自動）ピペットや分注器による、積み上げ法による定容で十分と思われるので、本章では原則としてこの方法を採用している。ただし、マイクロピペットや分注器の精度については時々調べておいたほうがよい。標準濃度液については正確な定容操作をするのが原則である。

3) 標準濃度液による検量線の簡略化

従来、発色法や原子吸光法測定の場合、標準濃度液を3～5段階程度設定して検量線が直線になることを確認しながら行っているが、本章では直線になることを前提に、原則として標準濃度液を一点しか設定しない方法を採用している。標準液は市販の1000ppm液を適宜希釈して調製する。

4) ろ紙

No.3（直径11～15cm）を用いている場合が多いが、「VIII 付帯資料」に記載してあるろ紙の特性を把握して、使い分けることも可能である。

5) 試薬

強アルカリ性溶液やフッ化物溶液はガラスを腐食するので、ポリエチレンやフッ素樹脂の容器に保存する。

6) 器具操作

実験器具の扱い方は成書を参照する（「実験を安全に行うために」「農芸化学実験書」等）。

7) 本章で用いている定本法、標準法とは下記資料に掲載されている分析手法を指す。参考文献はそれぞれの分析項目の末尾にも記載したが、その他にも参考となる文献・資料を本章末の6. 参考資料に一括整理しているので、必要に応じて参照していただきたい。

(1) 定本法：「土壤環境基礎調査における土壤、水質および作物体分析法」（昭和54年11月、農林水産省農蚕園芸局農産課編）。

(2) 標準法：「土壤標準分析・測定法」（昭和61年、博友社、日本土壤肥料学会監修 土壤標準分析・測定法委員会編）

1. 一般化学性

1. 1 pH (水) およびpH (KCl)

1) 分析操作

①土20g (泥炭5g) を100mLポリビン (ふた付) に採取する。

②水50mLまたは1N-KCl液50mLを加える。

注1) 定点法では泥炭の土：液比は1：10とされている。

注2) 多腐植質黒ボク土などの保水性の高い土では加水量を増やす必要が生じる場合もある。

③ガラス棒でかくはん後、約1時間静置する。

④上澄液に電極挿入後、軽く振りまぜ、約30秒後にpHメーターの値を読む。

2) 計算なし (単位なし)

3) 溶液、試薬の作り方

1N-KCl：1級塩化カリウム (KCl) 745gを、水9.7Lに溶かす。(計10L)

4) 補足説明

(1) 電極を挿入後もメーターの値が変化する (ドリフトする) 場合が多く、30秒後の値を読むこととする。

(2) EC (電気伝導率) の土：液比は1：5、pHは1：2.5であり、間違わないようにすること。肥料分析法では1992版から、泥炭やたい肥類のpHとECは乾物換算1：水10 (含有水分量含む) の比率である。なお、パークたい肥の北海道独自法¹⁾ はpH、ECとも乾物換算1：水5で1昼夜浸出である。ただし、添加水量が少なすぎて測定不能の場合があり、ガーゼ等で強制的に液をろ過すると可能となる。

(3) 従来法ではKCl液はpH7.0に調整することになっている。上記の通りに作るとpH5くらいになるが、実用上の問題はないのでこのままで使用する。

(4) 一般にpH (KCl) はpH (水) より0.5～1.0程度値が低い、火山性土の心土ではpH (KCl) の方が高いこともある。

(5) 普通の大きさのガラス電極では、土8g+液20mL程度が測定スケールの下限であろう。

(6) 緩衝力のない土壌 (ガラガラの火山軽石や砂など) はpH測定の意味はあまりない。分析に用いた水のpHを測定しているのに等しいので、測定値の評価には注意すること。

(7) pHの土：液比は1：2.5、EC (電気伝導率) は1：5であり、両者を測定する場合は1.4で記述する連続測定法が簡便であるが、多点同時分析を行うため、ECと同一溶液 (土液比1：5) でpHを測定する方法²⁾ も検討されている。土液比1：5と1：2.5の相関は高く、 $y = x$ にほぼ近似できることから、そのまま読み替えが可能としている (図1)。

5) 参考文献

1) 道立北見農業試験場。"林産廃棄物 (パーク) の堆肥化指標と畑地への施用法"。昭和58年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、1983、p.364-375。および成績会議資料

2) 道立中央農業試験場。"土壌診断のための簡易分析法 -pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃-"。平成20年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、2008、p.212-214。および成績会議資料

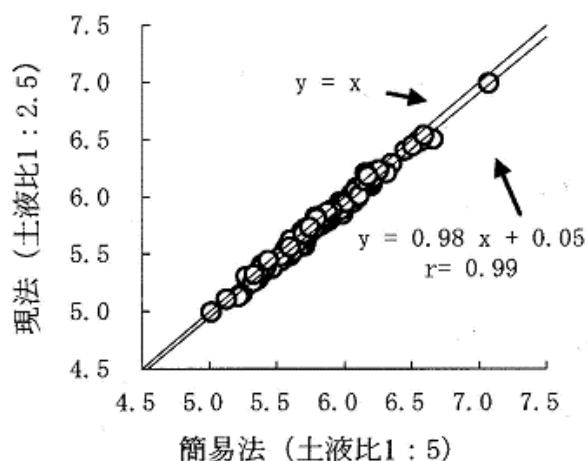


図1 pH分析における土：液比の比較

1. 2 交換酸度（置換酸度、 Y_1 ）

1) 分析操作

- ①土 20g を 100mL ポリビン（ふた付）に採取する。
- ②1N-KCl液50mLを加える。
- ③振とう機で1時間振とうする。
- ④フラスコ・試験管等にろ過する。
- ⑤ろ液10mLを50mL三角フラスコに採取する。
- ⑥ヒーターの上で軽く煮沸する。
（数秒間ポコポコと沸騰させる程度）
- ⑦放冷させずにそのままフェノールフタレインを指示薬として0.1N-NaOH液で滴定する。
（終点時は薄いピンク色を呈する）

○別に1N-KCl液10mLについて⑤～⑦の操作を行い、ブランクとする。

2) 計算

滴定値をTmL、ブランク値をBmLとすると、抽出液125mL（風乾土50gに相当）を中和するのに要する0.1N-NaOHの量（ Y_1 ）は、

$$Y_1 = (T - B) \times 12.5 \text{ (単位なし)}$$

（注．滴定液の力価（ファクター）は1とみなす。以下同様）

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) 1N-KCl：1級塩化カリウム（KCl）745gを、水9.7Lに溶かす（計10L）。
- (2) 0.1N-NaOH：市販の1N-NaOH液を水で10倍に薄める。
- (3) フェノールフタレイン指示薬：フェノールフタレイン0.1gを99%エタノール100mLに溶かす。

4) 補足説明

- (1) Y_1 とpH（KCl）を同時に測定するときは1.5で記述した連続測定が実用的である。
- (2) 滴定液（0.1N-NaOH液）は後述するCECのホルモル滴定法と同じなので共用できる。ただし、この液は空気中の二酸化炭素を吸って固まるので、長期間使用しない時はビューレットのガラスコックは一旦はずして水で洗っておいた方がよい。

1. 3 電気伝導率 (EC)

1) 分析操作

①土10g (泥炭5g) を100mLポリビン (ふた付) に採取する。
注) 定点法では泥炭の土：液比は1：10とされている。

②水50mLを加える。

③振とう機で1時間振とうする。

④けん濁液中にガラス電極を挿入しECメーターの値を読む。

2) 計算なし、単位はmS/cm (ミリジーメンス)。測定機の表示単位に気をつけること。

3) 溶液、試薬の作り方 なし

4) 補足説明

(1) 1.4に記載したpH (水) との連続測定法が実用的である。

(2) 上澄み液やろ過液を測る場合もあるが、実用上は懸濁液のままでも支障ない。

(3) ECの土：液比は1:5、pHの土：液比は1：2.5であるので注意すること。また、泥炭やたい肥等の土壤改良資材の分析法では (乾物当りで) 1：10である。肥料分析法では1992版から、泥炭やたい肥類のpHとECは乾物換算1:水10 (含有水分量含む) の比率である。なお、パークたい肥の北海道独自法¹⁾ はpH、ECとも乾物換算1:水5で1昼夜浸出である。ただし、添加水量が少なすぎて測定不能の場合があり、ガーゼ等で強制的に液をろ過すると可能となる。

(4) 温度が1℃上昇するとECは約2%増加するため、25℃における値に補正が必要である。ただし、現在のECメーターには補正機能が標準で備わっている。

(5) ECメーターの検定用として、既知濃度の塩溶液を使うと良い。例として、0.01M-KCl液 (特級KCl 0.745g を水に溶かし、1Lに定容する) のECは25℃で1.41mS/cm、18℃で1.22mS/cm。

5) 参考文献

1) 道立北見農業試験場. ”林産廃棄物 (パーク) の堆肥化指標と畑地への施用法”. 昭和58年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 1983, p. 364-375. および成績会議資料

1. 4 pH（水）とECの連続測定法

1) 分析操作

- ①土20g（泥炭5g）を100mLポリビン（ふた付）に採取する。
- ②水50mLを加える。
- ③ガラス棒でかくはん後、約1時間静置する。
- ④上澄液に電極挿入後、軽く振りまぜ、約30秒後にpHメーターの値を読む。
- ⑤水50mLを加える（計100mL）。
- ⑥振とう機で1時間振とう。
- ⑦けん濁液中にガラス電極を挿入しECメーターの値を読む。

2) 計算なし

pHは単位なし、ECはmS/cm（ミリジーメンズ）。測定機の表示単位に気をつけること。

3) 溶液、試薬の作り方 なし

4) 補足説明

- (1) pH測定時にはなるべく余計な水は加えない（EC測定時には土：液比=1：5となるようにする）。

1. 5 pH (KCl) と Y_1 の連続測定法

1) 分析操作

- ①土20gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。
 - ②1N-KCl液50mLを加える。
 - ③振とう機で1時間振とうする。
 - ④上澄液に電極挿入後、軽く振りまぜ、約30秒後にpHメーターの値を読む。
 - ⑤フラスコ・試験管等にろ過する。
 - ⑥ろ液10mLを50mL三角フラスコに採取する。
 - ⑦ヒーターの上で軽く煮沸する。
(数秒間ポコポコと沸騰させる程度)
 - ⑧放冷させずにそのままフェノールフタレインを指示薬として0.1N-NaOH液で滴定する。
(終点時は薄いピンク色を呈する)
- 別に1N-KCl液10mLについて⑥～⑧の操作を行い、ブランクとする。

2) 計算

pH (KCl) は単位なし

Y_1 は滴定値をTmL、ブランク値をBmLとすると、 $Y_1 = (T - B) \times 12.5$ (単位なし)

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) 1N-KCl：1級塩化カリウム (KCl) 745gを、水9.7Lに溶かす (計10L)。
- (2) 0.1N-NaOH：市販の1N-NaOH液を水で10倍に薄める。
- (3) フェノールフタレイン指示薬：フェノールフタレイン0.1gを99%エタノール100mLに溶かす。

4) 補足説明

- (1) 滴定液 (0.1N-NaOH液) は後述するCECのホルモル滴定法と同じなので共用できる。ただし、この液は空気中の二酸化炭素を吸って固まるので、長期間使用しない時はビューレットのガラスコックは一旦はずして水で洗っておいた方がよい。

1. 6 試験管によるpH（水）と交換性塩基の連続測定・抽出法（大量簡便法）

1) 分析操作

- ①土2gを25mL試験管（φ18×180mm）に採取する。
- ②水を5mL加え、かくはんし、約1時間静置する。
- ③上澄液に電極挿入後、軽く振りまぜ、約30秒後にpHメーターの値を読む。
- ④1.33N-酢アン液（pH7）を15mL加える。
（この状態で1N-酢アン液20mLとなる）。
- ⑤栓をして1時間振とう後、ろ過する。
- ⑥ろ液を希釈して（または直接）原子吸光法でCa、Mg、Kを測定する。

2) 計算

塩基については次ページのショーレンベルガー法と同様である。（土：液比=1：10）

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 1.33N-酢酸アンモニウム液（酢アン液）

特級酢酸アンモニウム（ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ）102.5gを水0.9Lに加えて溶かす。普通はほぼpH7.0になるはずなのでそのまま使う。調整する場合は氷酢酸（の希釈液）とアンモニア水（の希釈液）でpH7.0に調整した後、計1Lに定容する。

4) 補足説明

この方法は「北農」第54巻第4号¹⁾に記載されている。

5) 参考文献

- 1) 宝示戸雅之ら．“試験管を用いた迅速土壌分析法”．北農，54（4），34－43（1987）．

1. 7 交換性塩基（置換性塩基、CaO、MgO、K₂O；ショーレンベルガー法と簡便振とう法）

1) 分析操作

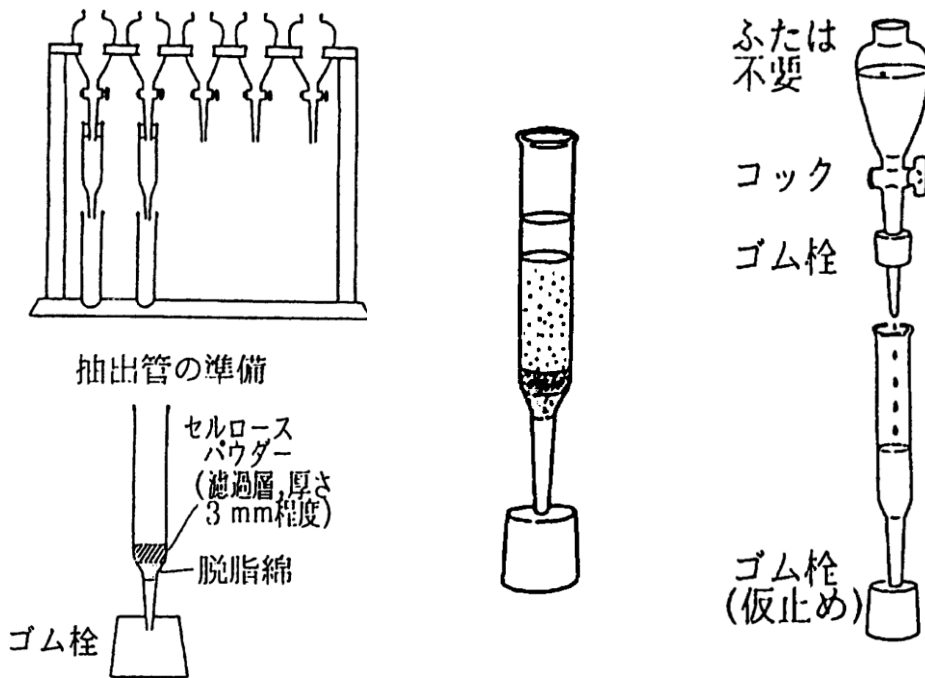
(1) ショーレンベルガー法による交換性塩基の連続抽出法の場合（土：液比=1：10）

①抽出台に並べたポリ製50mL分液ロート（または同等品）に酢アン液50mLをあらかじめ入れておく。
（下の模式図参照のこと）

②あらかじめ、抽出管に脱脂綿とセルロースパウダーを詰めておき、準備しておく。

注1) 定点法、標準法では抽出管（浸出管）の形状を内径1.3cm、長さ12cm（足の部分は除く）と規定している。その中に土を約8cmの高さで入れることになっており、土の重さを明確には規定していないが、一般には土8～10g（有機質土4～6g）に液100mLとされている。
注2) 定点法、標準法とも、連続抽出のための装置として市販の土壤浸出装置を図示しているが、必ずしもそれを使う必要はない。

③抽出管の出口をゴム栓で仮止めし、分液ロートから酢アン液を少量（管の約半分の高さ）注入する。



④その状態で、土5gを上から静かに加える（このとき気泡を入れないよう注意する）。

注3) 比重の軽い火山灰は3g、泥炭、たい肥類は2g程度を用いる。細粒質の土で透水が悪いと予想される時は、量を2gに減らすか、あるいはそれに細かい石英砂を多量に混ぜて行くと流下が早い。

⑤土を全て入れ終わったら、ロートとつなぐ。つなぐ時はロートのコックを右手で少し開けながら、ロートの先端のゴム栓に左手で抽出管を素早くはめ込む。

注4) コックを閉めたままで抽出管に接続してからコックを開けると、流下しない場合がある。

⑥続けて下の仮止めゴム栓をはずして50mL試験管（標線付）を受器としてセットする。

⑦その後ロートのコックで流下速度を調節する。（常に土が液で覆われているように注意する。）

注5) 粘質土の場合は、コックは全開でよい。

砂や粗粒火山灰、泥炭土など、明らかに透水が良いものは、コックを調節して流下時間を少なくとも15分以上かけるようにする。最も遅いものでも1～1.5日程度で流下する。

注6) 従来法では土8～10g/液100mLの場合、流下時間を4～20時間とされているが、それほど厳密に行う必要はない。

⑧流下が完全に終わったら、試験管を水で50mLに定容し、よくかくはんしておく。この抽出液を原子吸光光度計での分析に供する。

(2) 簡便振とう法による交換性塩基の抽出法の場合（土：液比＝1：20）

①土2gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。

②1N-酢アン40mLを加える。

③振とう機で30分間振とうする。

④50mL試験管などにろ過する。

⑤原子吸光光度計での分析に供する。

注) この方法による値はショーレンベルガー法と必ずしも同一とはならない（土壌の種類や塩基の濃度により異なるが、一般に高濃度の試料の場合、Ca、Mg等はやや低めに出る）。しかし、塩基のみを大量測定する場合は実用上の問題は少ない。

(3) 塩基（Ca、K_g、K）の原子吸光（炎光）測定

①抽出液0.5mLを25mL試験管に採取する。

②水9mLとストロンチウム液0.5mLを加える（計10mLで、抽出液の20倍希釈）。

③原子吸光分析に供する

注1) Kを炎光分析に供する場合は、抽出液そのものを供する。

注2) 標準液の濃度は元素単体としてCaは0～20ppm、Mgは0～5ppm、Kは0～5ppmが一応の範囲である。（Kを希釈せずに原子吸光または炎光にかける場合は0～50ppm程度）。また、標準液には酢アン液とストロンチウム液をサンプルと同濃度で添加すること。

注3) 各元素の原子吸光の波長は以下の通りである。

Ca：422.7nm

Mg：285.2nm（2ppm以下の低濃度の場合）、202.5nm（2ppm以上の高濃度の場合）

K：766.5nm（20ppm以下の低濃度の場合）、769.9nm（20ppm以上の高濃度の場合）

2) 計算 (ショーレンベルガー法による、土壌5g+酢アン50mLの場合)

原子吸光時 (20倍希釈液) のCa、Mg、K濃度をそれぞれA、B、C ppmとすると

$$\text{CaO (mg/100g)} = A \times 20 \times 50 \times 100 / 5 \times 1.399 / 1000 = A \times 27.98$$

$$\text{MgO (mg/100g)} = B \times 20 \times 50 \times 100 / 5 \times 1.658 / 1000 = B \times 33.16$$

$$\text{K}_2\text{O (mg/100g)} = C \times 20 \times 50 \times 100 / 5 \times 1.205 / 1000 = C \times 24.1$$

(希釈しない場合は $= C \times 50 \times 100 / 5 \times 1.205 / 1000 = C \times 1.205$)

注) 簡便振とう法の場合、土液比が1:20となるので、上の値をさらに2倍する。

$$\text{塩基飽和度 (\%)} = (\text{CaO (mg)} / 28.04 + \text{MgO (mg)} / 20.15 + \text{K}_2\text{O (mg)} / 47.1) / \text{CEC (me)} \times 100$$

$$\text{石灰飽和度 (\%)} = (\text{CaO (mg)} / 28.04) / \text{CEC (me)} \times 100$$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 1N-酢酸アンモニウム液 (pH7) (酢アン液)

特級酢酸アンモニウム ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 771gを水9.40Lに加えて溶かす (これではほぼ10Lになるはず)。普通はほぼpH7.0になるはずなのでそのまま使う。もし調整する場合は氷酢酸 (の希釈液) とアンモニア水 (の希釈液) で行う。

(2) ストロンチウム液 (Srとして20000ppm液) またはランタン液 (Laとして20000ppm液)

特級塩化ストロンチウム ($\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 61gを水1Lに溶かす。または、特級塩化ランタン ($\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 53.5gを水1Lに溶かす。

(3) セルロースパウダー：市販のものを水に懸濁して使用する。

1. 8 塩基交換容量（陽イオン交換容量、塩基置換容量、CEC）

1) 分析操作

(1) ショーレンベルガー法による塩基抽出後のアルコール洗浄

○器具の洗浄

①塩基抽出後、中の土層が崩れないように注意しながら、抽出管を静かに取り外す。

②洗浄ビンに入れた80%アルコールで、分液ロートの内面および抽出管との接続部に残着している酢アン液を洗い流す。

③抽出管の接続部の内面も同様に洗い流す。

（土が固く詰まっているので逆さにしても崩れ出ることはない）

○土壌の洗浄

①コックを閉めて分液ロート内に80%アルコールを25mL入れる。

②流下したアルコールは分析上は不要なので、分液ロートの下にバットやポリビーカーを置いて受ける。

③酢アン液の時と同様にしてアルコールを完全に流下させ、土層中の余分なアンモニアイオンを除去する。
洗浄液の流下速度は前記抽出液の時とほぼ同じにするのが望ましい。

（一般には土層が詰まって抽出の時よりも速度は遅くなる。）

(2) アルコール洗浄後のKCl抽出

①アルコール洗浄後、酢アン液の場合と全く同様に、10%KCl液50mLを流す。

（土はかなり詰まっているので、酢アン液の時よりは一般に流下速度は遅い。）

②50mL試験管で受ける。よくかくはんする。

（横線つき試験管で受け50mLに定容するのが原則だが、KClの場合は塩基抽出時の酢アン液の場合とは異なってほぼ50mL近く回収されるので、実用上は定容しなくても問題はない。）

(3) ホルモル適定法によるKCl液中のNの定量

①KCl抽出液5mLを50mL三角フラスコに採取する。

②ホルマリン液2.5mLを加える。（駒込ピペットでよい。）

③チモールブルー（指示薬）を1～2滴加え、0.1N-NaOHで滴定する（通常0.5～5mLの範囲）。

赤褐色→濁濃青（→明濃青）に変化するが、濁濃青の時点を目録として

注）ホルモル法については、詳解肥料分析法（1988）p. 39-42を参照すること。

2) 計算

滴定値をTmL、ブランク値をBmLとすると、

$$\text{CEC (me/100g)} = (T-B) \times 0.1 \times 100 / 5 \times 50 / 5 = (T-B) \times 20$$

(±5g、ホルモル法で抽出液5mLを用いた場合)

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 80%アルコール

99%エタノール8.1Lと水1.9Lを混合して計10Lとし、アルコール比重計で正確に濃度を調整する。(アルコール濃度はCECの値に影響するので注意する)。pHはBTB(ブロムチモールブルー)試験紙を用いてpH7になるようにアンモニア水で調整する。

(2) 10%KCl液

1級塩化カリウム(KCl) 1000gに水9.6Lを加えて溶かす(計10L)。pHは調整しない。

(3) ホルマリン液

市販ホルムアルデヒド液500mLに水500mLを加える(計1L)

(4) チモールブルー液(指示薬)

チモールブルーのナトリウム塩1gを20%エタノール100mLに溶かす。

(5) 0.1N-NaOH液

市販の1N-NaOH液を水で10倍に薄める。(Y₁の滴定液と共有できる。)

注) KCl液中のアンモニア態Nの定量にはインドフェノール法(1.24の項参照)も活用できる。

4) 補足説明

ショーレンベルガー法は簡易・迅速とはいえないが、CECを測定する最も普通の方法である。この方法のある程度自動化した装置が市販されている。また、簡易・迅速法としては、かくはん抽出法によるCECと塩基の測定法が一部で使われている^{1,2)}。

5) 参考文献

- 1) 中司啓二ら. ”かくはん抽出法による塩基交換容量と交換性塩基測定の迅速化”. 土肥誌, 58(4), p.480-483(1987).
- 2) 村本穰司ら. ”振とう浸出法による土壌の交換性陽イオンおよび陽イオン交換容量の迅速分析”. 土肥誌, 63(2), p.210-215(1992).

1. 9 ブレイーリン酸（土壌抽出液比率 水田1：10、草地1：20）

1) はじめに

北海道施肥ガイド2010では、本法を水田および草地の有効態リン酸に適用している。なお、水稻育苗床土にはトルオーグ法を用いる。

本法はブレイ第2法の準法で、振とう時間を1分間、土壌：抽出液比率を水田では1：10、草地では1：20としている。「土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法」¹⁾では、ブレイー2準法として振とう時間を1分間、土壌：抽出液比率を1：20で示されている。

原法では土壌：抽出液比率＝1：7、振とう時間は40秒間である。

2) 分析操作

①水田1：10では土2g、草地1：20では土1gを100mLポリビン（ゴム栓または、ふた付き）に採取する。

②ブレイ抽出液20mLを加え、手で1分間振とうし、直ちにろ過する。

注）草地では抽出液の温度を20℃としている。

③25mL試験管で受ける。

④リン酸の定量

ア．ろ液0.5mLを25mL 試験管にとり、水10mLを加える。

イ．発色試薬2mL を加え、かくはんする。

ウ．15分以上静置後に、波長710nmで比色定量する（上記分析書では880nmで比色するとされている）。

発色は数時間安定である。

⑤標準濃度液

Pとして0～25ppmの液 0.5mL＋抽出液0.5mL＋水9.5mL＋発色液2mL。

*計 12.5mLにおけるPとしての濃度は0～1.0ppm。

3) 計算

発色液中のP濃度をPppmとして、

水田の1：10では

$$\begin{aligned} P_{205} \text{ (mg/100g)} &= P \text{ (ppm)} \times 2.2914 \text{ [酸化物係数]} \times 12.5 \text{ (mL)} \div 0.5 \text{ (mL)} \times 20 \text{ (mL)} \div 1000 \text{ (mL)} \\ &\quad \times 100 \text{ (g)} \div 2 \text{ (g)} \\ &= P_{\text{ppm}} \times 2.2914 \text{ [酸化物係数]} \times 25 \end{aligned}$$

草地の1：20では

$$\begin{aligned} P_{205} \text{ (mg/100g)} &= P \text{ (ppm)} \times 2.2914 \text{ [酸化物係数]} \times 12.5 \text{ (mL)} \div 0.5 \text{ (mL)} \times 20 \text{ (mL)} \div 1000 \text{ (mL)} \\ &\quad \times 100 \text{ (g)} \div 1 \text{ (g)} \\ &= P_{\text{ppm}} \times 2.2914 \text{ [酸化物係数]} \times 50 \end{aligned}$$

4) 溶液・試薬の作り方

(1) ブレイ抽出液 (0.03M-NH₄F液+0.1M-HCl液)

A液 特級フッ化アンモニウム (NH₄F) 11.1gを水300mLに加え、溶かす。

B液 市販の2M-HCl液500mL (メスシリンダーで計る)

→A液とB液と水9.2Lを合わせて計10Lとする。

(2) 発色液 (以下の A液、B液、C液の混合D液)

A液 モリブデン硫酸液

a 水約3Lに濃硫酸555mLを注意して加え、放冷後水を加えて、計4Lとする (2.5M-H₂SO₄)。

b 特級モリブデン酸アンモニウム4水和物 ((NH₄)₆Mo₇O₂₄・4H₂O) 40gを加熱した水1Lに完全に溶かし、放冷する。(粉末状のものは古くなると白濁して完全には溶けないが、その場合はろ別して使用できる。)

c b液をa液にゆっくりと注ぎ混合する (計 5L)。長期間の保存が可能。

B液 酒石酸アンチモニルカリウム液

酒石酸アンチモニルカリウム2.7gを水1Lに加え溶かす。

(長期保存可能だがカビが生えることがあるので注意する。なるべく冷暗所に保存する。)

C液 アスコルビン酸液

L-アスコルビン酸1.7gを水100mLに加え溶かす。(当日有効)

D液 発色液の混合 (発色液200mLを作る場合)

A液130mLにC液60mLをかくはんしながらゆっくりと加え、さらにB液10mLを加え、よくかくはんする。

C液混合後は当日に使用する。

A液とB液はあらかじめ混合しておいても良い (冷暗所で1~2ヶ月保存可能)。

5) 補足説明

(1) 本法によるリン酸抽出量は、抽出液温度が高くなるに従って増加する。草地では抽出液温度を20℃としている。

(2) 試験管による大量簡易抽出法²⁾

①ポリ製またはガラス製試験管 (径18mm×長さ180mm程度) に風乾土1gを入れておく。

②20℃に保ったブレイ抽出液を分注器で20mL加える。(5本ずつまとめて分注しても問題はない。)

③速やかにゴム栓をして1分間手で振とう (100往復) し、ろ過する。

6) 参考文献

1) 日本土壤協会. “土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法”. 2001, p. 79-81.

2) 宝示戸雅之ら. “試験管を用いた迅速土壤分析法”. 北農, 54 (4), 34-43 (1987).

1. 10 たん水期水田作土のブレイーリン酸（乾土相当1：10法）

1) 分析操作

①生土4gを100mLポリビン（ゴム栓または、ふた付き）に採取する。

②ブレイ抽出液20mLを加え、手で1分間振とうし、直ちにろ過する。

③25mL試験管で受ける。

④リン酸の定量

ア．ろ液0.2mL（0.5mL）を25mL試験管にとり、水10mLを加える。

イ．発色試薬2mLを加え、かくはんする。

ウ．15分以上後に、波長710nm（前項1.9の分析書では880nm）で比色定量する。発色は数時間安定。

⑤標準濃度液

Pとして0～25ppmの液0.5mL＋ブレイ抽出液0.5mL＋水9.5mL＋発色液2mL

*計12.5mLにおけるPとしての濃度は0～1.0ppm

2) 計算

発色液中のP濃度をPppmとして、

生土の水分率をW%とすると、乾土あたりでは

$$\begin{aligned} P_{2O_5} \text{ (mg/100g)} &= P \text{ (ppm)} \times 2.2914 \text{ [酸化物係数]} \times 12.5 \text{ (mL)} \div 0.2^{\text{注)}} \text{ (mL)} \\ &\quad \times \left((20 \text{ (mL)} + 4 \text{ (g)} \times W/100) \right) \div 1000 \text{ (mL)} \\ &\quad \times (100 \text{ (g)} \div (4 \text{ (g)} \times (100 - W) \div 100)) \end{aligned}$$

3) 溶液・試薬の作り方

前項1.9と同じ。

4) 補足説明

(1) たん水期（6月下旬～7月上旬）の水田作土の水分率は一般に35～50%である。したがって、土：液比は 2.6g：（20+1.4）～ 2.0g：（20+2.0）、すなわち約 1：8.2～1：11 となる。

(2) 標準濃度液にもサンプルの分取量と同量のブレイ抽出液を必ず加えること。

(3) 注：ろ液の供試量は、リン酸肥沃度が非常に低い場合や 5月下旬～ 6月上旬の移植直後では 0.5mL、その他のたん水時期は 0.2mLが適当である。前者の場合（0.5mL）は、2)計算式中の0.2を0.5として計算する。

1. 11 トルオーグーリン酸（有効態リン酸、可給態リン酸）

1) 分析操作（30分法）

①土1gを250mLポリビン（ふた付）に採取する。

②トルオーグ抽出液200mLを加える。

③振とう機で30分間振とうする。

④ろ過。25mL試験管に受ける。余分な液は捨てる。

⑤ろ液5mLを25mL試験管に分注する。
（タマネギ畑やハウス土壌ではろ液は2mL）

⑥水5mLを加える。
（タマネギ畑やハウス土壌では水は8mL）

⑦発色液2mLを加え、かくはんする。15分以上放置。

⑧分光光度計（710nm）で測定する。

⑨標準濃度液

Pとして25ppmの液0.5mL＋トルオーグ抽出液5mL＋水4.5mL＋発色液2mL

*計12mL、Pとしての濃度は1.04ppm

2) 計算

発色時のP濃度をAppmとすると、

ろ液5mLを供試した場合 P_2O_5 (mg/100g) = $A \times 12 / 5 \times 200 \times 100 / 1000 \times 2.29 = A \times 109.9$

ろ液2mLを供試した場合 P_2O_5 (mg/100g) = $A \times 12 / 2 \times 200 \times 100 / 1000 \times 2.29 = A \times 274.8$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) トルオーグ抽出液

水9.98Lに特級硫酸アンモニウム（ $(NH_4)_2SO_4$ ）30gを加えて溶かし、さらに市販の1N- H_2SO_4 液をホールピペットで正確に20mL加えてかくはんする（計10L）。pHは3.0±0.05になるはず。

(2) 発色液

ブレイーリン酸法（1.9項）と同じものを作る。

4) 補足説明

(1) トルオーグ原法は土2gに液400mL、30分振とうである。振とう時間は以前の分析法では90分（誤って翻訳された？）であったが、現在は定点法、標準法とも30分となっている。

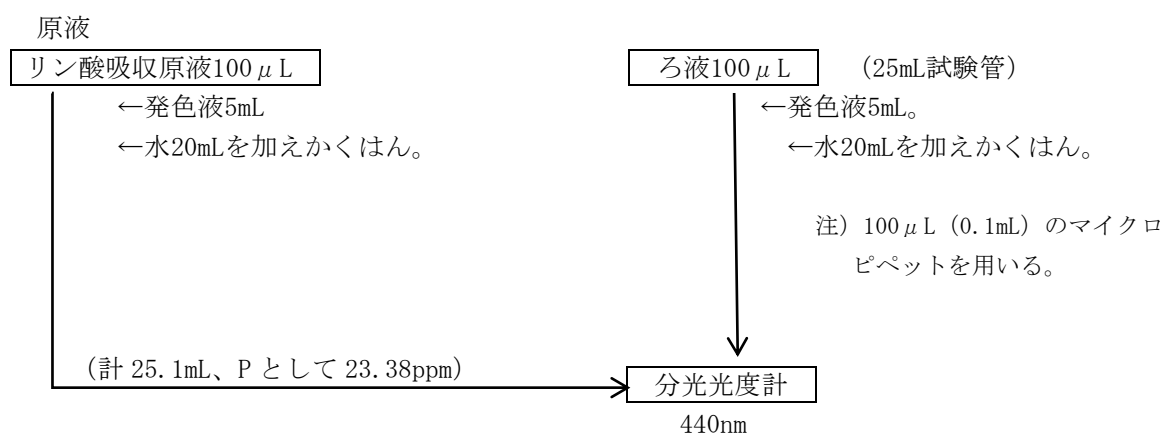
(2) 全国的には有効態（可給態）リン酸といえばトルオーグ法をさす。したがって、道外では水田の有効態（あるいは可給態）リン酸と明記してあっても、ブレイ法ではなくトルオーグ法の場合もあるので注意を要する。

(3) トルオーグーリン酸とブレイーリン酸との換算については「5.2（参考資料）有効態リン酸相互読み替えの検討」を参照すること。

1. 12 リン酸吸収係数（常法とSPAD簡便法）

1) 分析操作

- ①土10g（泥炭は2g）を100mLポリビンに採取する。
- ②リン酸吸収原液20mLを加える。
 - a. 常法では、時々手で軽くかくはんしながら、24時間室温放置。
 - b. SPAD簡便法では、振とう機で30分振とう。
- ③ろ過。25mL試験管で受ける。



2) 計算

単位はなし、通常は整数（10の位まで）

- (1) 常法の場合：発色時のP濃度をAppmとすると、
リン酸吸収係数=2687×(1-A/23.38)（泥炭はこの結果を5倍する）
- (2) SPAD簡便法の場合：同様に
リン酸吸収係数=2687×(1-A/23.38)×1.25
*簡便法は常法より約20%低い値がでるので補正係数1.25をかける。

3) 溶液、試薬の作り方

(1) リン酸吸収原液

- ①特級リン酸水素二アンモニウム（ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ）250gを水9.9Lに加え溶かす（計10L）。この液のpHは普通約8になるので、リン酸希釈液（市販のリン酸を1:1に希釈）を用いてpH7.0に調整する。（普通約50mL程度を要する。もし下げすぎた場合は、アンモニア水（1:1）で再調整する。）
- ②pHを7.0に調整した後、次にリン酸濃度を調整する。この状態では目標とする P_2O_5 濃度（13440ppm）より高いので、適当に水を加えて既知のP標準濃度液と比較しながら発色チェックをし、最終的に P_2O_5 として13440ppm（Pとして5869ppm）の液をつくる。（最終的には約11LとなるがpHは変わらない。）
 P_2O_5 濃度がXppmのとき、その液10Lに対して加える水の量W（L）は

$$W = \frac{(X-13440)}{13440} \times 10 \text{ (L) となる。}$$

注) 本液についてはSPAD用試薬として富士平工業から市販もされている。

(2) 発色液

A液：特級メタバナジン酸アンモニウム (NH_4VO_3) 5.85gを沸騰した水1.25Lに溶かす。放冷後、これに特級硝酸 (HNO_3) 1.25Lを加え放冷する。

B液：特級モリブデン酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 125gを60°C以上に加熱した水2Lに完全に溶かし放冷する。(試薬が古い場合は完全には溶けないこともある。)

C液：B液をA液にゆっくりと注ぎ、さらに水を0.5L加えて計5Lとする。

注) この液は酸濃度が高いので扱いに注意する。また、結晶が析出して固まるので、分注器を使用した後は必ず水で洗っておく。

4) 補足説明

- (1) 定点法や標準法では、乾土25g相当量の風乾土(あらかじめ水分率を測っておく)に原液50mL(土：液 \approx 1：2)と規定されており、この方法ではリン酸吸収係数は最大2690である。しかし、多量のサンプルをこなす場合はこの方法は困難であり、本書では他の分析項目と同じく、風乾土の一定重量(10g)を用いることとした。(風乾土：液=1：2となる)。したがって、値が大きい場合は、水分補正をすると2690より大きくなることがある。
- (2) また、同じく、泥炭についても乾土5g相当量の風乾土に原液50mL(\approx 1：10)で分析し、その計算結果を5倍すると規定されている。この場合は、リン吸は2690を越えることがある。
- (3) 本法では吸収液を直接251倍に希釈しているが、二段階に分けて希釈しても良い。また、有効態リン酸と同様にアスコルビン酸を用いる発色法でも測定可能だが、その場合は吸収液を6000倍程度以上に希釈する必要がある。
- (4) SPAD法で規定している往復振とう機は、振とう強度が強い(1分間に150往復)。従って、通常の振とう強度(1分間に80~100往復)で簡便法を行う場合は、補正係数は1.25とはならない可能性がある。

1. 13 可給態ケイ酸（たん水保温静置法）

1) はじめに

北海道施肥ガイド2010の土壤診断基準値（水田土壤）の可給態ケイ酸はたん水保温静置法である。また、「土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法」¹⁾ではたん水保温静置法の他にリン酸緩衝液抽出法が、「土壤環境分析法」²⁾では易抽出けい酸量の測定法が示されている。なお、「土壤診断のための簡易分析法」³⁾における、可給態窒素およびケイ酸測定のための一括培養の手順は次項に示す。

2) 抽出操作（下記の両発色法で共通）

- ①土10gを 100mLポリビン（ふた付き）に採取する。
- ②水60mLを加えてガラス棒で軽くかきまぜる。密栓して40℃で1週間静置する。
- ③そのまま静かに取り出して上澄み液を直接採取する。採取量は、アスコルビン酸還元法では0.5mL、住田の方法では1.0mLである。通常、ろ過の必要はない。濁っているときは遠心分離あるいはろ過する。

3) アスコルビン酸還元法（SPAD法）による発色法

(1) 定量操作

- ①上澄み液 0.5mLを 25mL試験管に採取し、水8.0mL、A 発色液0.5mLを加え、20分間放置する。
- ②B発色液0.5mLを加え、かくはんし、3分間放置する。
- ③C発色液を0.5mL加え、かくはんする。5分以降～5時間以内に 810nmで吸光度を測定する。

(2) 標準濃度液

Siとして0～20ppmの液0.5mL+pH4酢安抽出液0.5mL+水7.5mL
+A発色液0.5mL+B発色液0.5mL+C発色液0.5mL

*計 10.0mLにおけるSi濃度は0～1.0ppm（上澄み液中：Siとして0～20ppm）

(3) 計算

発色液中のSi濃度をSi ppmとして、

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 \text{ (mg/100g)} &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 10.0\text{mL} / 0.5\text{mL} \times 60\text{mL} / 1000\text{mL} \times 100\text{g} / 10\text{g} \\ &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 12 \end{aligned}$$

4) 混合還元剤法（住田の方法）による発色法

(1) 定量操作

- ①上澄み液1mLを50mL試験管あるいはフラスコに採取し、水18mLを加える。
- ②D発色液3mL、E発色液1mLを加え、かくはんし、2分間放置する。
なお、このときの溶液のpHが1.8付近になるように塩酸の濃度を調整しておく。
- ③F発色液1mLを加え、かくはんし、2分間以上放置する。
- ④G発色液1mLを加え、かくはんする。5分以降に810nmで吸光度を測定する。

(2) 標準濃度液

Siとして0～20ppmの液1.0mL+水18.0mL
+D発色液3.0mL+E発色液1.0mL+F発色液1.0mL+G発色液1.0mL

*計 25.0mLにおけるSi濃度は0～0.8ppm（上澄み液中：Siとして0～20ppm）

(3) 計算

発色液中のSi濃度をSi ppmとして、

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 \text{ (mg/100g)} &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 25.0\text{mL} / 1.0\text{mL} \times 60\text{mL} / 1000\text{mL} \times 100\text{g} / 10\text{g} \\ &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 15 \end{aligned}$$

5) 溶液、試薬の作り方

(1) アスコルビン酸還元法 (SPAD法) の発色液

A発色液：モリブデン酸アンモニウムの塩酸性溶液（冷暗所で1年間安定）。約100mLの水に濃塩酸334mLを加え、冷却後に500mLとする。この溶液に、モリブデン酸アンモニウム110gを約400mLの温水に溶かし冷却した溶液を加えて、水で1Lとする。

B発色液：酒石酸溶液（長期保存可）。酒石酸400gを水に溶かして1Lとする。

C発色液：アスコルビン酸溶液。アスコルビン酸9.0gを水100mLに溶解する。

(2) 混合還元剤法（住田の方法）の発色液

D発色液：0.6M-HCl液。市販の1M-HCl液600mLに水400mLを加える（計1L）。または、市販の2M-HCl液300mLに水700mLを加える（計1L）。あるいは38%濃塩酸48mLに水952mLを加え計1Lとする。

E発色液：10%モリブデン酸アンモニウム液。特級モリブデン酸アンモニウム（4水和物）100gを温水900mLに溶かし、放冷後水を加えて1Lとする。

F発色液：20%酒石酸液。酒石酸20gを水に溶かして、100mLとする。

G発色液：混合還元剤（順序を違えると溶解しないので、以下の順に溶かすこと。保存不可）。

ア. 無水亜硫酸ナトリウム (Na_2SO_3) 1gを温水約150mLに溶かす。

イ. 1-アミノ-2-ナフトール-4-スルホン酸0.5gを加え、溶かす。

ウ. 亜硫酸水素ナトリウム (NaHSO_3) 30gを加え、溶かす。

エ. 最後に、水を加えて200mLとする。

6) 補足説明

(1) 定量法については、感度の高いアスコルビン酸還元法 (SPAD法)⁴⁾ および混合還元剤法（住田の方法）⁵⁾ を示した。この他に亜硫酸ナトリウムを用いた方法がある¹⁾。

(2) 二価鉄とリン酸の共存の影響（土壤環境分析法²⁾ より）

土壤の還元に伴って二価鉄が大量に溶出するような土壤では、本来ケイ酸とモリブデン酸との反応でモリブデン黄を呈するところが、直ちに青色を呈し、還元剤の添加で青緑色となる。このような現象が認められるときは、イオン交換樹脂添加等の前処理により二価鉄を除去するか、より低いpH条件で発色させ、二価鉄の影響が少ないとされる住田の方法を採用するとよい。しかし、これらの方法でもリン酸富化土壤で多量のリン酸が存在するときは二価鉄の除去が必要となる。

7) 参考文献

- 1) 日本土壤協会. “土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法”. 2001, p. 81-86.
- 2) 日本土壤肥料学会監修 土壤環境分析法委員会編. “土壤環境分析法”. 博友社, 1997, p. 273-278.
- 3) 道立中央農業試験場. “土壤診断のための簡易分析法 -pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃-”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2008, p. 212-214. および成績会議資料
- 4) 柳井政史ら. “酢酸緩衝液抽出法による土壤の可給態ケイ酸のアスコルビン酸粉末を用いた比色定量法”. 土肥誌. 67 (3), 273-278 (1996)
- 5) 住田弘一. “寒冷地水田における土壤の珪酸供給力と水稻のケイ酸吸収特性”. 東北農試研報. 80号. 1-46 (1992)

1. 14 可給態ケイ酸および可給態窒素の一括培養（たん水保温静置、40℃・1週間法）

1) はじめに

北海道施肥ガイド2010で、土壤診断基準値（水田土壤）の可給態ケイ酸および可給態窒素は、培養条件のうち温度・期間は同条件で土：液比が異なるたん水保温静置法である。「土壤診断のための簡易分析法」¹⁾では、可給態窒素分析のたん水保温培養・40℃-1週間法の上澄み液を分析することで可給態ケイ酸含量に換算できることが示されている。ここでは、水田の可給態窒素と可給態ケイ酸の一括培養による分析法を示す。

なお、本可給態窒素分析法²⁾は土壤機能モニタリングなどの標準分析法（30℃・4週間法）³⁾とは培養温度・期間の他に、評価対象がアンモニア態窒素であること、培養前の分析値を差し引かないことが相違する。

2) 分析操作

①規格ガラス培養ビン^{注1)}に土10g^{注2)}を採取する。

注1、2)については、1.19の可給態窒素（水田；たん水保温静置、40℃・1週間法）を参照のこと。

②水 20mLを加え、軽くかきまぜて土層内の気泡を抜いてから、ゴム栓等で密封する。

③40℃で1週間培養する。

④上澄み液を1.0mL採取し、1.13アスコルビン酸還元法（SPAD法）等によりケイ酸を定量する

⑤10%KCl液100mLを用い、ビン内の土と水を全て250mLポリビン内に流し込む。

ふたをして、30分間振とうする。（土10g+液120mL（119mL）となる）

⑥試験管またはポリビンに定量に必要な液量となるようにろ過する。

⑦ろ液のアンモニア態窒素をインドフェノール法やオートアナライザー等で定量する。

* 標準の可給態ケイ酸培養時の土液比が10g：60mLであるのに対して、可給態窒素・40℃・1週間法では10g：20mLである。

* 定量操作、標準濃度液は前項1.13のとおり。

3) 計算

下記の換算式により土液比1：6のたん水保温培養法による濃度とみなして、土壤100g当たりの可給態ケイ酸含量として表示する。

窒素培養上澄みSi濃度をSippmとすると、

$$\text{SiO}_2 \text{ (mg/100g)} = (0.66 \times \text{Si} + 2.4) \times 2.1393 \times 0.6$$

回帰式 酸化物係数 土液比換算

<回帰式>：[窒素培養上澄みSi] → [たん水保温培養上澄みSi] への変換回帰式

4) 参考文献

- 1) 道立中央農業試験場．“土壤診断のための簡易分析法　－pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃－”．平成20年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，2008，p. 212－214．および成績会議資料
- 2) 北海道農政部，北海道立農業試験場．“低蛋白米生産をめざした水田土壤窒素診断の手引き”．1998，p. 21－23．
- 3) 日本土壤協会．“土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法”．2001，p. 66－69．

1. 15 可給態ケイ酸 (pH4酢酸緩衝液抽出法)

1) はじめに

本可給態ケイ酸分析法は土壌の可給態ケイ酸含量と稲わらのケイ酸含有率およびケイ酸石灰の施用効果の有無が高い相関関係にあることを根拠としている^{1) 2)} (今泉・吉田、1958)。しかし、この方法では浸出強度が高く、資材中の不可給態ケイ酸まで溶出してしまう可能性が指摘されている³⁾。発色は原法ではなく、SPAD法を示す。

なお、北海道施肥ガイド2010の土壌診断基準値 (水田土壌) および土壌機能モニタリング調査³⁾における可給態ケイ酸はたん水保温静置法である。

2) 分析操作

①土2gを 50mL三角フラスコにとり、pH4酢酸抽出液 20mLを加える。アルミホイルでふたをする。

②恒温水槽中で40℃、5時間加熱する。1時間に 1回、手で軽くかくはんする。

③25mL試験管にろ過する。

④定量法 (アスコルビン酸還元法 (SPAD法))

ア. 上澄み液0.5mLを 25mL試験管に採取し、水8.0mL、A発色液0.5mLを加え、20分間放置する。

イ. B発色液0.5mLを加え、かくはんし、3分間放置する。

ウ. C発色液0.5mLを加え、かくはんする。5分以降～5時間以内に 810nmで吸光度を測定する。

⑤標準濃度液 (SPAD法)

Siとして0 ~ 30ppm 液 0.5mL + pH4酢酸抽出液 0.5mL + 水7.5mL

+ A 発色液 0.5mL + B 発色液 0.5mL + C 発色液0.5mL

操作は上記と同様に行う。土壌の測定濃度域: 0~64.2mg/100g (標準液Si濃度0~30ppm)

* 計 10.0mLにおけるSi濃度は0~1.6ppm

3) 計算 (SPAD法)

発色液中のSi濃度をSippmとして、

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 \text{ (mg/100g)} &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 10\text{mL} / 0.5\text{mL} \times 20\text{mL} / 1000\text{mL} \times 100\text{g} / 2\text{g} \\ &= \text{Si} \times 2.1393 \text{ [酸化物係数]} \times 20 \end{aligned}$$

4) 溶液、試薬の作り方

(1) 抽出液: pH4.0 酢酸緩衝液

10Lの目盛りつきビーカーに水を約 9L入れ、無水酢酸ナトリウム (CH₃COONa) を148g加え、溶かす。これに、酢酸 (氷酢酸) 492mLを加え、よくかくはんする。計約9.5Lになる。この時の液のpHは通常3.94~3.96となる。これに、1M-酢酸ナトリウム液 (上記の無水酢酸ナトリウム41gを水500mLに加えて溶かす) を用いてpH4.0に調整する (計300~350mL必要)。最終的に水を加え、計10Lとする。pHが4.0より高いときは薄い酢酸液で調整する。

(2) 発色液 (SPAD法)

A発色液: モリブデン酸アンモニウムの塩酸酸性溶液 (冷暗所で1年間安定)

約100mLの水に濃塩酸334mLを加え、冷却後に500mLとする。この溶液に、モリブデン酸アンモニウム 110gを約400mLの温水に溶かし冷却した溶液を加えて、水で1Lとする。

B発色液: 酒石酸溶液 (長期保存可)

酒石酸400gを水に溶かして1Lとする。

C発色液: アスコルビン酸9gを水100mLに溶解する。

5) 補足説明

- (1) 恒温振とう機があると、ポリビンを用いて大量かつ簡便に抽出できる。その場合は振とう強度を弱くすること。
- (2) 恒温水槽中で多量に抽出する場合には、50mLの試験管に土1gと抽出液 10mLをいれ、試験管立て（50本用）ごと湯中に沈めて行う方法もある。
- (3) 発色法は、従来法では亜硫酸ナトリウム（ Na_2SO_3 ）を還元剤としているが、この方法は感度が鈍く、共存イオンの妨害を受け易い可能性がある。アスコルビン酸を還元剤として使うSPAD法の方が利点は多い⁴⁾。

6) 参考文献

- 1) 土壤養分測定法委員会編. “土壤養分分析法”. 養賢堂, 1970, p. 278–280.
- 2) 今泉吉郎ら. ”水田土壤の珪酸供給力に関する研究”. 農技研報 B. 8号. 261–304 (1958).
- 3) 日本土壤協会. “土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体分析法”. 2001, p. 79–80.
- 4) 柳井政史ら. “酢酸緩衝液抽出法による土壤の可給態ケイ酸のアスコルビン酸粉末を用いた比色定量法”. 土肥誌. 67 (3). 273–278 (1996)

1. 16 遊離酸化鉄（ジチオナイト－クエン酸塩還元溶解法）

1) はじめに

遊離酸化鉄の分析法は、前分析書まで還元剤ジチオナイト（ヒドロサルファイト）による還元鉄をEDTAでキレート抽出する浅見・熊田法¹⁾を採用しており、水田土壌の土壌診断基準値もこれに基づいている。一方、土壌機能モニタリングではジチオナイトで還元し、クエン酸キレートで抽出する方法を採用している²⁾。後者の分析法は、70℃に加温する必要がなく、原子吸光光度計で分析できるなど、前者に比べより簡便な方法である。両者を比較検討した結果、土壌診断基準値付近を分析する上では両分析法の値に差がないことが確認されており³⁾、ここでは後者について述べる。

2) 分析操作

①風乾細土を微粉碎した試料 1.00gを 100mL^{注1)} ポリビンに採取する。

②ジチオナイト 1gと抽出液 50mLを加えて、室温（20℃）で16時間振とうし、ろ過（No. 5C）する^{注2)}。

③ろ液を水で 20倍に希釈し、ポリビンに入れる。ゆるくふたをし、2～48時間^{注3)} 放置する。

④原子吸光光度計で定量する。

⑤鉄標準溶液は 0～50mgFe/Lとし、希釈抽出液と同濃度のジチオナイトとクエン酸ナトリウムを含むようにする。

3) 計算

鉄含量 (Fe mg/kg) ^{注4)} = 希釈抽出液中鉄濃度 (mg/L) × 50 × 20 × (1+含水比) ^{注5)}

鉄含量 (Fe₂O₃ %) = Fe (mg/kg) / 10000 × 1.43 [酸化物係数]

4) 溶液・試薬の作り方

A試薬：ジチオナイト（ヒドロサルファイト、Na₂S₂O₄）

粉末で用いる。古いものを使うと抽出効率が低下するので注意する。

B抽出液：22%クエン酸ナトリウム溶液

特級クエン酸ナトリウム (Na₃C₆H₅O₇ · 2H₂O) 220gを水に溶解し、1Lとする。

5) 補足説明

(1) 注1、3)：分析書²⁾ではそれぞれ250mL容および48時間とされているが、差がないことが確認されている³⁾。

(2) 注2：分析書²⁾では高分子凝集剤（0.2%Superfloc溶液）を添加して遠心分離し、上澄み液を採取することを基本としているが、ろ過も可としている。

(3) 注4、5)：モニタリング調査では乾土中のFe (mg/kg) で表示する。土壌診断基準値はFe₂O₃ (%) で示す。

6) 参考文献

1) 土壌養分測定法委員会編．“土壌養分分析法”．養賢堂，1970，p. 324－330.

2) 日本土壌協会．“土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法”．2001，p. 86－91.

3) 日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法委員会編．“土壌環境分析法”．博友社，1997，p. 288－291.

1. 17 遊離酸化鉄（浅見・熊田法を基にしたSPAD簡便法を一部変更）

1) はじめに

水田土壌の遊離酸化鉄の標準分析は浅見・熊田法を採用しており、分析法がやや煩雑であることから前分析書から引き続いて簡便法を記載する。なお、本書では、土壌機能モニタリング調査で採用しているジチオナイトークエン酸塩還元溶解法を前項で示している。

2) 分析操作

①風乾細土 0.4gを 50mL試験管（標線付）に採取する。

②ジチオナイト0.6gと抽出液20mLを加えて、アルミホイルでふたをする。

恒温水槽中で、70℃、15分間加熱する。

入れる前に1回、途中で1回軽くかくはんする。

③放冷後、そのまま水で50mLに定容し、よくかくはんして、試験管にろ過する。

④ろ液0.2mLを25mL 試験管に採取し、水8mLと発色液2mLを加えて、よくかくはんする。

510nmで吸光度を測定する。

⑤標準濃度液

Feとして0～200ppmを④と同様に準備する。

3) 計算

標準濃度液の Fe濃度を Appm として

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 (\%) = A \times 1.43 \times (0.2\text{mL}/1000\text{mL}) \times (50\text{mL}/0.2\text{mL}) / (0.4\text{g} \times 1000) \times 100$$

4) 溶液・試薬の作り方

(1) ジチオナイト：ハイドロサルファイトナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)。粉末で用いる。

(2) 抽出液：EDTA粉末 (EDTA - 2Na塩・エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム) 74.5gを水10Lに溶かす。

(3) 発色液：塩酸オルトフェナントロリンと塩酸ヒドロキシルアミンを含む酢酸酸性溶液

注) 塩酸オルトフェナントロリンとオルトフェナントロリンは異なる試薬である。

1. 18 可給態窒素（水田：たん水保温静置法、30℃・4週間法）

1) はじめに

本法は微生物的方法による代表的な可給態窒素の分析法であり¹⁾、土壌機能モニタリング調査では本法を用いている。なお、北海道施肥ガイド2010における水田の土壌窒素肥沃度評価はより簡便な「1.19 可給態窒素（水田：たん水保温静置法、40℃・1週間法）」で行う。

2) 分析操作

(1) 培養

①規格ガラス培養ビンにあらかじめ水10mLを入れておく。

②土15gを上から静かに加えて細いスパチュラで軽くかきまぜ、さらに水10mLを加え、軽くかきまぜて土層内の気泡を抜く。

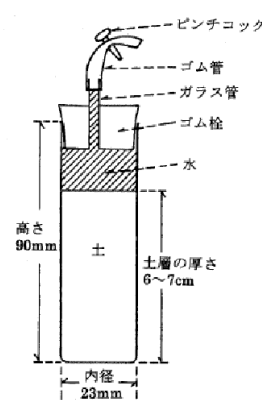
③ガス抜き管付きゴム栓を閉め、ガス圧で栓が飛ばないようにテープで巻く。

④30℃で4週間静置する。（随時、ピンチコックを緩めてガス抜きをする。）

⑤10%KCl液100mLを用い、細いスパチュラを用いてビン内の土と水を全て250mLポリビン内に流し込む。
ふたをして、30分間振とうする。（土15g+液120mLとなる）

⑥試験管またはポリビンに定量に必要な液量となるようにろ過する。

⑦ろ液の無機態窒素（アンモニア態窒素+硝酸態窒素）を定量する。



培養ビン¹⁾

注) 初期値として、培養前の土10gにKCl液100mLを加え、無機態窒素を定量する。

(2) 無機態窒素量の定量

オートアナライザーによるアンモニア態窒素、硝酸態窒素同時測定。

3) 計算

培養後の無機態窒素量から培養前の初期値を差し引き、培養期間中に生成した無機態窒素とみなす。
なお、モニタリング調査では乾土kgあたりのmgNで表示する。

4) 補足説明

(1) 原法^{1) 2)}では、土の重量は規定せずにビン内の土層の厚さが6~7cmとされているが、本法では操作を簡略化するために、一律に15gとしてある。また、培養ビンの規格は、内径23×高さ90mmの平底と規定されているが、一般の市販容器としては、外径25×高さ100mmの植物培養試験管が便利である。

(2) 原法^{1) 2)}では、抽出液の最終的KCl濃度は、乾土10gに対して10%KCl液80~100mLと規定されているが、本法でも実用上問題はない。

5) 参考文献

- 1) 日本土壌協会. “土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法”. 2001, p. 66-69.
- 2) 日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法委員会編. “土壌環境分析法”. 博友社, 1997, p. 255-257.

1. 19 可給態窒素（水田：たん水保温静置法、40℃・1週間法）

1) はじめに

本法は代表的な可給態窒素の分析法である「1. 18 可給態窒素（水田：たん水保温静置法、30℃・4週間）」¹⁾の簡易分析法として提示され、北海道施肥ガイド2010における水田の土壌窒素肥沃度評価に用いられている。この分析法の原法は「低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き」³⁾に示されているが、30℃・4週間法の培養条件以外を概ね受け継いでいたことから、分析操作はやや煩雑であった。そのため、改良法が示され⁴⁾、本書ではこれを基本法として示す。

なお、本可給態窒素分析法と30℃・4週間法との相違点は培養温度・期間の他に、評価対象がアンモニア態窒素であること、培養前の分析値を差し引かないことである。

2) 分析操作

(1) 培養

①規格ガラス培養ビンに土10gを採取する。

②水20mLを加え、軽くかきまぜて土層内の気泡を抜いた後、ゴム栓等で密封し、40℃で1週間培養する。

③（可給態ケイ酸を分析する場合：上澄み液を1.0mL採取し、ケイ酸を定量する（1. 13参照））

④10%KCl液100mLを用い、ビン内の土と水を全て250mLポリビン内に流し込む。

ふたをして、30分間振とうする。（土10g+液120mL（119mL）となる）

⑤試験管またはポリビンにろ過する。

(2) 窒素量の定量

ろ液中のアンモニア態窒素をオートアナライザーやインドフェノール法等で定量する。

3) 計算

培養後のアンモニア態窒素を分析値とする。

窒素施肥対応のための窒素肥沃度は乾土100g当たりのmgNで表示する。

4) 補足説明

(1) 培養ビンの規格は、内径23×高さ90mmの平底と規定されているが、一般の市販容器としては、外径25×高さ100mmの植物培養試験管が便利である。

(2) 原法^{1) 2)}では土の重量は規定せずにビン内の土層の厚さが6~7cmとされており、操作を簡略化するために一律に15gとしてきた³⁾が、さらに操作性向上のため一律10gとする⁴⁾。

(3) 原法^{1) 2)}では、抽出液の最終的KCl濃度は、乾土10gに対して10%KCl液80~100mLと規定されているが、本法で実用上問題はない。

5) 参考文献

1) 日本土壌協会. “土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法”. 2001, p. 66-69.

2) 日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法委員会編. “土壌環境分析法”. 博友社, 1997, p. 255-257.

3) 北海道農政部, 北海道立農業試験場. “低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き”. 1998, p. 21-23.

4) 道立中央農業試験場. “土壌診断のための簡易分析法 -pH, N, P₂O₅, SiO₂, Cu, Zn, B, Fe₂O₃-”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2008, p. 212-214. および成績会議資料

1. 20 可給態窒素（畑：保温静置法、30°C・4週間法）

（培養法あるいはインキュベーション法とも呼ばれる）

1) 分析操作

(1) 培養

①規格UMガラスビンにあらかじめ水4mLを入れておく。

②その上に土10gを静かに加え、平らな状態であるべく水を均一にしみ込ませる。

③ポリエチレンフィルム（JIS、2/100mm厚）で覆い、輪ゴムで締める。

④30°Cで4週間静置する。

（蒸発する水量を補う意味で、2週間後にいったん取り出してポリフィルムをはずし、上から水をなるべく均一に0.4mL滴下する。）

(2) 抽出

⑤10%KCl液100mLをUMビン内に直接加え、ふたをして30分振とうする。（土10g+液104mLとなる）

⑥100mL試験管（100mLポリビン）にろ過する。（ろ液は約80mLとなる）

⑦水蒸気蒸留、オートアナライザー法などを用いて $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ を定量する。

2) 補足説明

(1) 初期値として、培養前の土10gにKCl液100mLを加え、その $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ も定量する。

(2) 加える水の量は、定点法や標準法では、最大容水量の60%と規定されているが、本法では操作を簡略化するために一律に4mLとした。その根拠は、風乾土の三相分布のうち孔隙率（実最大容水量）が一般に60%前後であることによっている（ $10\text{g}\times 0.6\times 0.6=3.6\approx 4$ （mL）となる）。したがって、泥炭土や腐植にすこぶる富む土などの場合は水の添加量を事前に測っておくと良い。

(3) ポリエチレンフィルム（JIS、2/100mm厚）として、マルチなどで使用される厚さ0.02mmの農業用ポリフィルム（透明）を用いても良い。

1. 21 硝酸態窒素 (RQフレックスによる簡易法)

1) 土壌試料の採取

①図のような採土器を用い、必要な深さまで20cm毎に分割して土壌を採取し、それぞれの深さの土壌試料を個々のビニル袋に入れる。なお、採取した土壌の深さ（長さ）をメモしておく。

②採取時に土壌がこぼれ落ちたり、物理的障害のため規定深を採取できないような場合は、下記3) の(2)を基に計算する。この場合は、採取した土壌の風乾土重も測る必要はないので、採土深さえ記録しておけば、スcoopで採土し（均一に混ぜた後）必要量だけ乾燥し分析に供試しても構わない。



採土器の概要

長さ：117cm、内径：2.2cm
材質：ステンレス
採土部の長さ：25cm
20cm毎にマーカを刻む。
土取りへらも用意する。

層位別診断用採土器（特注品）

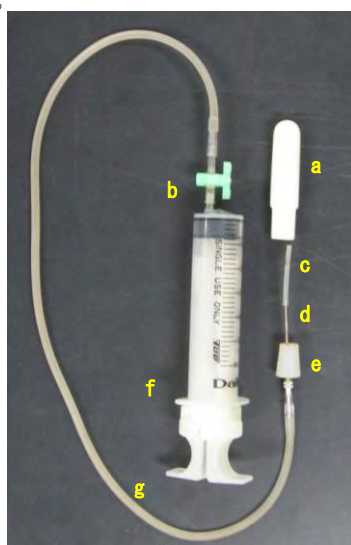
2) 抽出操作

①土壌を風乾（40℃で一晩以上）して風乾土重を測定後、風乾乾土をできるだけ細かく砕き、よく混ぜる。

②適当な容器に風乾細土100gを採取し、水（水道水でも可）250mLを加えて棒で1分程度かき混ぜる。

③ろ液採取装置（図）でろ液を採取する。この際、とも洗いを2～3回行う。

④採取したろ液中の硝酸態窒素濃度を小型反射式光度計（RQフレックス）で測定する。試験紙は、硝酸テスト3-90mg/Lを使用する。なお、水道水を用いた場合は、ブランクとしてその水道水の硝酸態窒素濃度も測定する。



a 素焼きカップ、b 三方活栓、
c 細いチューブ、d 針、
e シリコン栓、f シリンジ、
g シリコンチューブ

ろ液採取装置

3) 計算

(1) 基本的な計算法

採土した土壌の深さ（長さ） : L (cm)
採土した孔の数 : N (箇所)
採土した土壌の乾燥重 : W (g)
土壌の仮比重 : D (g/cm³)
ろ液の測定値 : A (mg/L、NO₃として)
用いた水の測定値 : B (mg/L、NO₃として)

$$\text{土壌重量当たり硝酸態窒素量} = (A - B) \times 0.226 \times 2.5 \div 10^6 \quad (\text{mg/kg 乾土}) \quad \dots \text{ア}$$

ここで、0.226 は NO₃ を N に換算する係数 (分子量 NO₃=62, N=14, 14/62=0.2258)

2.5 は希釈倍率 (乾土 100g に対して水 250mL の比率)

10⁶ は硝酸 N の mg を kg に換算する係数

$$\text{深さ L (cm) の土壌重量} = W \div (N \times 3.8 \times L) \times (10^7 \times L) \div 10^3 \quad (\text{kg/10a}) \quad \dots \text{イ}$$

ここで、3.8 は採土器の内断面積 (内径 2.2cm)

(N×3.8×L) は採土した土壌の体積

W ÷ (N×3.8×L) は採土した土壌の容積重 (仮比重)

(10⁷×L) は 10a (=1000 m²) 当たりの土壌容積

10³ は土壌重量の g を kg に換算する係数

したがって、面積あたりの硝酸態窒素量 = ア × イ (kg/10a)

$$= (A - B) \times 0.226 \times 2.5 \div 10^6 \times (W \div (N \times 3.8 \times L)) \times 10^7 \times L \div 10^3 \quad (\text{kg/10a}) \quad \dots \text{ウ}$$

$$= (A - B) \times 0.226 \times 2.5 \times W \div N \div 3.8 \div 10^2 \quad (\text{kg/10a}) \quad \dots \text{エ}$$

(2) もし、採土したときに土が崩れるなどして一定容積の土壌が取れなかった場合は、ウ式の (W/(N×3.8×L)) の部分が土壌の仮比重を示すので、以下の値を D (g/cm³) として代用する (どの値を採用するかで結果が大きく影響されるため、深さ毎に土壌条件を確認すること)。

泥炭土 0.3~0.7、火山性土 0.7~0.9、低地土 0.9~1.3 (下層の粘土は 1.3 以上)、台地土 1.0~1.4
面積あたりの硝酸態窒素量 = ((A - B) × 0.226 × 2.5 ÷ 10⁶) × D × 10⁷ × L ÷ 10³ (kg/10a) ……ウ'

$$= (A - B) \times 0.226 \times 2.5 \times D \times L \div 10^2 \quad (\text{kg/10a}) \quad \dots \text{エ'}$$

(3) 本式によって計算される硝酸態窒素量 (kg/10a) は、あくまでも採土した深さでの値なので、深い層まで複数に分けて採土した場合は、それぞれの計算値を合計する必要がある。

4) 通常法への読み替え

上記の計算式により計算した土壌中硝酸態窒素量 (kg/10a) は、以下の式により通常法 (10%KCl 抽出、土液比 1 : 5、振とうろ過) による土壌中硝酸態窒素量評価値に読み替える。

$$\text{通常法評価値} = \text{RQ 簡易法計算値} \times 1.44 - 2.21 \quad (\text{kg/10a}) \quad (\text{読み替え値は整数値として扱う})$$

5) 参考文献

1) 道立十勝農業試験場. “小型反射式光度計を用いた土壌硝酸態窒素の簡易測定法”. 平成19年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2007, p.87-89. および成績会議資料.

1. 22 熱水抽出性窒素（オートクレーブ法（AC法））

1) 分析操作

(1) オートクレーブによる抽出（補足(1)）

①土 8.0g を 100mL 三角フラスコに採取する（補足(2)）。

②水80mLを加え、アルミホイルでふたをする。

③オートクレーブ中で105℃、1時間加熱する。

（蒸発量は0.5mL程度なので無視する）

④放冷後 No. 5Cのろ紙を用いポリビン等にろ過する。

ろ過の際はフラスコをよく振とうしてから直ちにロートにあけると、土自体がろ過層となって土粒子の漏れは減少し、濁りのないろ液が得られる。

⑤ろ液20mLを分解する。→ (2) ろ液の分解へ

(2) ろ液の分解（補足(3)）

①ろ液20mLを100mLのケルダールフラスコに入れる。

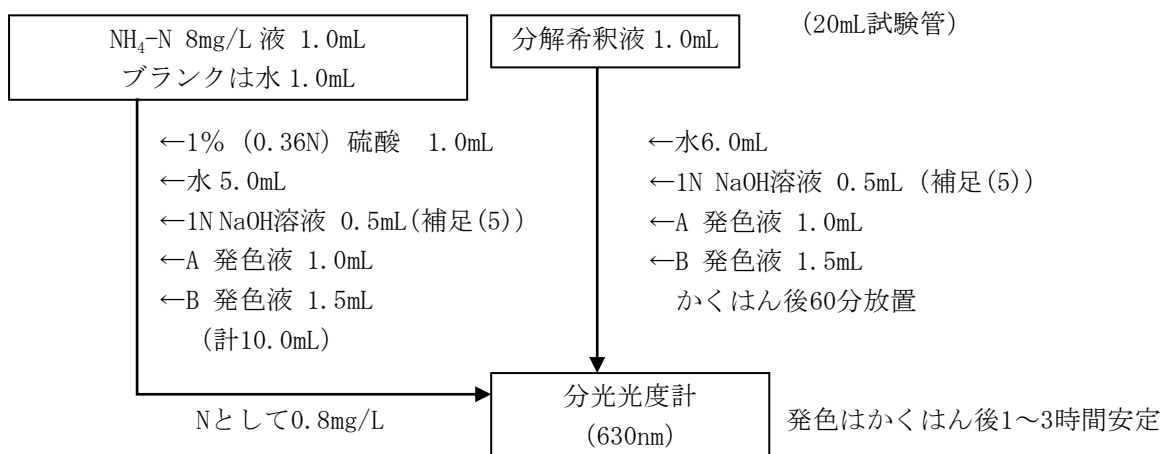
②濃硫酸0.5mLを加えかくはんする。次に過酸化水素4mLを加える。

③電熱器などで加熱分解する（出力は強）。ろ液がほぼ蒸発した状態からさらに30分程度加熱したら分解を止める。加熱開始からの所要時間はおおむね50～60分である。

④放冷後、水を49.5mL加えてよくかくはんする（50mLに定容、補足(4)）。分解希釈液中の窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ の形態で存在）についてインドフェノール法で測定する。→ (3) へ

(3) インドフェノール法による定量（本法については1.24に詳述している）

標準濃度液



2) 計算

発色時のN濃度をA mg/Lとすると、(土8g+水80mLで抽出。ろ液20mLを硫酸分解し、分解液を50mLに希釈。分解希釈液1.0mLを供試し、計10.0mLで発色させた場合)

$$\text{熱水抽出性窒素 (mg/100g)} = A \times 10 \times 50 / 20 \times 10 / 10 = A \times 25$$

(標準液は熱水抽出性窒素20mg/100gに相当)

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) 1% (0.36N) 硫酸：水50mL程度に、硫酸1mLを加えかくはんしてから100mLに定容する。
- (2) 1N-NaOH溶液：NaOH 4.0gを水に溶かして100mLに定容する。
- (3) インドフェノール発色液 (A液、B液) の作り方については、1.24を参照すること。

4) 補足説明

- (1) 本版では野菜畑、普通畑、草地に対する窒素肥沃度評価についてAC法を適用していることや、テンサイに対して新たな窒素施肥対応法が確立されたことから、従来法(湯せん上で1時間加熱)と熱抽無機法(AC変法)については削除した。
- (2) ろ過時の操作性(振とうや注ぎやすさ)を考慮し、分析法(1992改訂版)と比べ若干スケールダウン(土10g→土8g)させている。
- (3) 分析法(1992改訂版)では窒素の定量に水蒸気蒸留法を用いたため、200mLケルダールフラスコにろ液50mLと硫酸3~10mLを加え分解していたが、本法では窒素の定量にインドフェノール法を用いるため、上記手順のようにスケールダウンさせている。
- (4) 本来はメスアップするところであるが、積み上げ法(0.5mL+49.5mL)による定容で十分である。
- (5) インドフェノール青発色の最適pHは11.3~11.7であり、サンプルの酸性が強いと安定した発色が得られない。1N-NaOH溶液はサンプルの中和のために加えている。

1. 23 熱水抽出性窒素（紫外部吸光光度法による簡易測定）

1) はじめに

1. 22で示した熱水抽出性窒素の分析には硫酸分解を必要とし、労力がかかるとともにドラフトチャンバーを要する。そこで、硫酸分解を行わない測定法として、紫外部吸光光度法を開発した^{1), 2)}。

紫外部吸光光度法の測定原理は、タンパク質などの有機態窒素化合物が含まれる熱水抽出液について、タンパク質の定量法の一つである280nm吸光光度法で測定するものである。

2) 分析操作（抽出はAC法と同じ）

①土 8.0g を 100mL 三角フラスコに採取する。

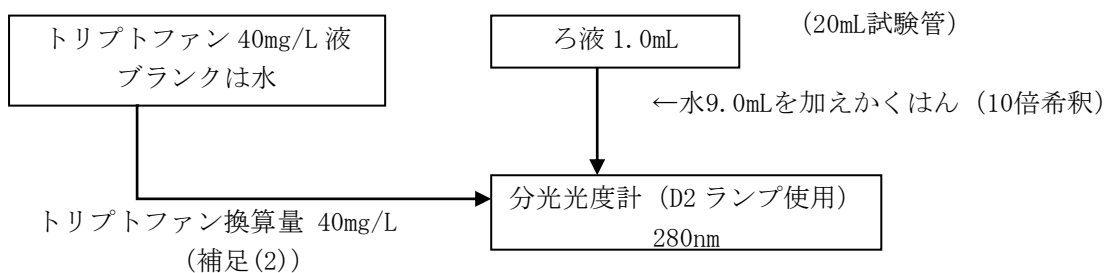
②水80mLを加え、アルミホイルでふたをする。

③オートクレーブで105℃、1時間加熱する。

④放冷後 No. 5Cのろ紙を用い試験管等にろ過する。

ろ過の際はフラスコをよく振とうしてから直ちにロートにあけると、土自体がろ過層となって土粒子の漏れは減少し、濁りのないろ液が得られる（補足(1)）。

標準濃度液



3) 計算

(1) 計算式：分光光度測定時の10倍希釈液中のトリプトファン換算量を A mg/Lとすると、

低地土、台地土、泥炭土（泥炭層除く）では、熱水抽出性窒素 (mg/100g) = $A \times 1.13$

火山性土（腐植含量2%以上）では、熱水抽出性窒素 (mg/100g) = $A \times 1.91$

火山性土（腐植含量2%未満）では、熱水抽出性窒素 (mg/100g) = A

(2) 簡易測定法の測定精度

10倍希釈ろ液の280nm吸光度トリプトファン換算量と熱水抽出性窒素との相関については、図2に示した。測定値に高い精度が求められる範囲（熱水抽出性窒素0～12mg/100g）で、簡易測定法の回帰式と熱水抽出性窒素AC法の分析値（硫酸分解し、インドフェノール法で測定）との差が±1mg、2mg、4mg/100gの範囲に入るサンプル割合について、非火山性土（低地土、台地土、泥炭土）ではそれぞれ60%、88%、99%であり、火山性土（腐植2%以上）ではそれぞれ43%、73%、94%である。

4) 溶液、試薬の作り方

(1) トリプトファン標準液（①1000mg/L、②40mg/L）

①特級 L-トリプトファン100mgを精秤し、水で溶かし100mLにメスアップする（1000mg/L標準液）（補足(3)を参照のこと）。1000mg/L標準液は冷蔵で1～2ヶ月保存可能。

②トリプトファン1000mg/L標準液を4mL採取し、水を加え100mLにメスアップする（40mg/L標準液）。トリプトファン40mg/L標準液は測定日毎に作成する。

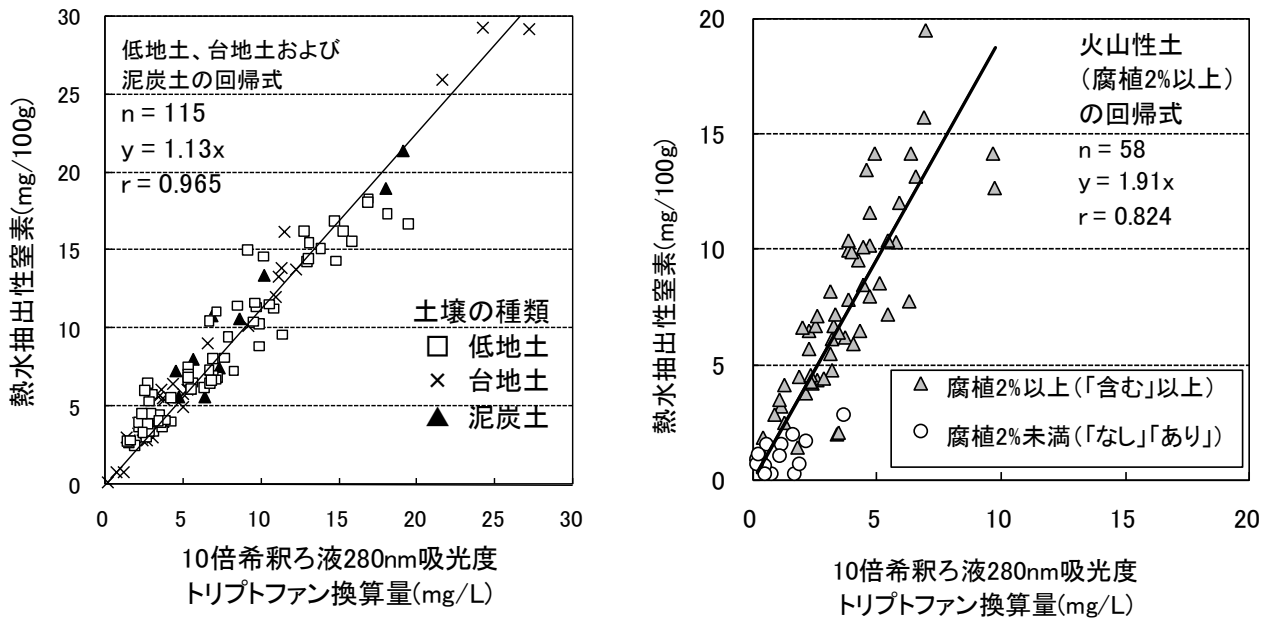


図2 10倍希釈ろ液の280nm吸光度トリプトファン換算量と熱水抽出性窒素との関係

5) 補足説明

- (1) ろ液に濁りがあると、測定値が本来の値と比べてトリプトファン換算量で1~3mg/L程度（熱水抽出性窒素で1~3mg/100g程度）高くなるため、ろ液に濁りがある場合は一晩静置し上澄みを測定に供することとする。また、ろ液がこはく色を呈することがあるが、これは地力窒素が高いサンプルでろ液のこはく色が濃くなる傾向があり、ろ液の濁りではない。
- (2) 参考として、上川農試、原環センターの分光光度計によるトリプトファン40mg/L液の280nm吸光度は1.08前後である。測定機器により吸光度に若干の差が生じると想定されるが、吸光度が大きく異なる場合は機器の設定や標準液の調製法を確認すること。
- (3) トリプトファンの溶解度は低いため（20℃で1.06g/水100g）、溶かすのに時間がかかる。

6) 参考文献

- 1) 道立中央農業試験場. “有機栽培畑の窒素肥沃度指標の選定とその簡易測定法”. 平成19年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2007, p. 218-220
- 2) 道立中央農業試験場. “土壌診断のための簡易測定法-pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃-”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2008, p. 212-214

1. 24 インドフェノール法によるKCl液中NH₄-Nの定量法

1) 供試する抽出液

- (1) 1.17 たん水保温静置法N抽出液 (土15g+水20mL+KCl液100mL)
- (2) 1.8 CEC用N抽出液 (土5g+KCl液50mL) の25倍希釈液
- (3) たん水期水田作土の生土N抽出液 (土20g+KCl液100mL) など

2) 分析操作

- ①抽出液1mL (上記③の生土の場合は2mL) を25mL試験管にとる。
- ②水14mL (抽出液を2mL供試した場合は水13mL) を加える。
- ③A発色液2mL、B発色液3mLを加える。
- ④かくはん後60分放置する。
- ⑤分光光度計 (630nm) で比色する。(発色はかくはん後1~3時間安定である)

○窒素標準濃度液としてNH₄-N 20ppm液1mLにKCl液1mLを加え、さらに水13mL加え、上記③~⑤の分析操作を行う。(計20mLとなるので、Nとしては1ppm (mg/1000mL) となる)

3) 計算

- (1) たん水保温N抽出液の場合の発色時N濃度をAppmとすると
(土15g+水20mLのサンプルを10%KCl液100mLで抽出、抽出液1.0mLを供試した場合)
$$\text{NH}_4\text{-N (mg/100g)} = A \times 20 \times 100 / 15 \times 120 / 1000 = A \times 16 \text{ (N標準液は16.0mgに相当)}$$
- (2) CECのN抽出液の場合の発色時N濃度をBppmとすると
(土5g+10%KCl液50mLで、抽出液の25倍希釈液1.0mLを供試した場合)
$$\text{CEC (me/100g)} = B \times 20 \times 100 / 5 \times 50 \times 25 / 14 / 1000 = B \times 35.7 \text{ (窒素標準濃度液は35.7meに相当)}$$
- (3) たん水期水田作土の生土のN抽出液の発色時N濃度をCppmとすると
(生土20g+10%KCl液100mL、土の水分率をW%、ろ液2.0mLを供試した場合)
$$\begin{aligned} \text{NH}_4\text{-N (mg/100g)} &= C \times 20 / 2 \times (100 + 20 \times W / 100) / (20 \times (1 - W / 100)) \times 100 / 2 / 1000 \\ &= C \times (500 + W) / (100 - W) \text{ (生土の水分率が40\%の場合、N標準液は9.0mgに相当)} \end{aligned}$$

4) 溶液、試薬の作り方 (水の分析、第3版より)

- (1) 緩衝溶液:リン酸三ナトリウム12水和物 (Na₃PO₄ · 12H₂O) 30g、クエン酸三ナトリウム二水和物 (Na₃C₆H₅O₇ · 2H₂O) 30g、およびEDTA (エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム) 3gを水に溶かし、計1Lとする。(pHはおよそ12)
- (2) A発色液 (フェノール・ニトロプルシッド溶液) :フェノール60gを(1)液約900mLに良く溶かした後、ニトロプルシッドナトリウム [ペンタシアノニトロシル鉄(III)酸ナトリウム二水和物、Na₂Fe(CN)₅NO · H₂O] 0.2gを加え、(1)液で1Lに定容する。冷暗所に保存する。
- (3) B発色液 (次亜塩素酸ナトリウムのアルカリ溶液) :市販の次亜塩素酸ナトリウム溶液10mLに1M-水酸化ナトリウム溶液 (NaOH40gを水に溶かして1Lとする) 400mLを加え、水で1Lに定容する。着色ビンに入れて冷蔵庫に保存する。

この次亜塩素酸ナトリウム溶液の市販物は通常7~12%の有効塩素を含んでいるが、次第に酸化力のある塩素 (Cl⁰) は減少していく。市販物のラベルには有効塩素の保証値5%と記入されているので、これをそのまま用いている場合が多く、特に有効塩素量を正確に定量する必要はない。

5) 補足説明

- (1) 本法によるインドフェノール青発色の最適pHは11.3～11.7であるが、試料のpHは3程度まではpH調整を必要としない。
- (2) 本法は作物体のN分解液（硫酸－過酸化水素分解）などにも適用できるが、その場合はpH調整を必要とする場合があるので注意する。
- (3) SPAD法ではろ液0.5mLに対し、水5.5mLに以下のA、B液を各2mL加え、計10mLとして発色させている。
A液：フェノール、ニトロプルシッドナトリウム、EDTAの3種混合水溶液。
B液：次亜塩素酸ナトリウムと水酸化ナトリウムの混合水溶液。
- (4) 生土のKCl抽出液をインドフェノール法で発色させた時に沈殿が生じることがある。KCl抽出液を希釈して再分析するか、あるいは沈殿を除去した上澄みを測定する。

1. 25 有機態炭素（チューリン法の従来法と改良法）

1) 分析操作

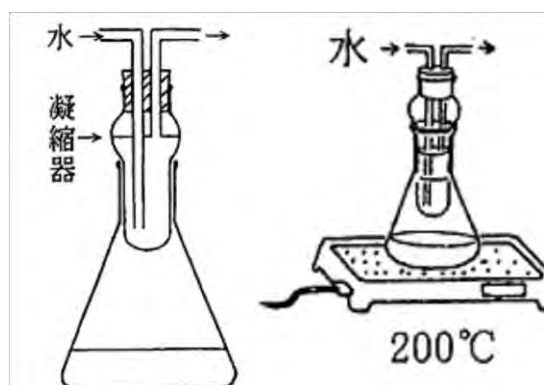
(1) 従来法

- ①細かく粉砕した土0.05～1gを100mLの三角フラスコに採取する。
 - ②0.4Nクロム酸・硫酸混液10mLを加える。
 - ③ガラス製の小型ロートでふたをして、ホットプレート上におく（砂をしき、200℃に昇温させておく）。
 - ④フラスコの底から一様に泡が発生し始めてから正確に5分間煮沸する。
 - ⑤直ちに流水中で冷却し、ロートを少量の水で洗い込む。
（この時の色は黄だいたい色ないし緑味をおびた褐色）
 - ⑥0.2%フェニルアントラニル酸液数滴（約0.25mL）を滴定直前に加える。
 - ⑦0.2N硫酸第一鉄アンモニウム（モール塩）液で滴定。液色が暗赤褐色から明緑色に変わる時が終点。
- ブランクとして2～4mm大の素焼き片2～3個を100mLの三角フラスコに入れ、②～⑦の操作を行う。

(2) 改良法

- ①細かく粉砕した土0.01～1g（Cとして4～6mg）を100mLの三角フラスコに採取する。
- ②0.4Nクロム酸・硫酸混液10mLを加える。
- ③ホットプレート上におき、凝縮器をさし込む。
約200℃に昇温し、沸騰が始まってから30分後に加熱を止める。
- ④2～3分間放置後、凝縮器を抜いてフラスコをホットプレートからおろす。
- ⑤約10mLの水を加える。
- ⑥0.2%フェニルアントラニル酸液約0.25mLを滴定直前に加える。
- ⑦従来法と同様に滴定する。

○ブランクとして②～⑦の操作を行う（素焼き片は不要）。



2) 計算

滴定値をTmL、空試験滴定値をBmL、0.2N-硫酸第一鉄アンモニウム液の力価をF、土の量をWgとすると、
炭素 (C) (%) = $(B-T) / W \times f \times 0.06$
腐植 (%) = C (%) $\times 1.724$ となる。

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) 0.4Nクロム酸・硫酸混液：重クロム酸カリウム（二クロム酸カリウム； $K_2Cr_2O_4$ ）40gを水1Lに溶かす。
これに濃硫酸（ H_2SO_4 ）1Lを少量ずつゆっくりと過熱しないように加え、放冷する。（水を入れたバット内に2Lビーカーを入れて行うと良い）
- (2) 0.2N硫酸第一鉄アンモニウム液：水0.98Lに濃硫酸20mLを加え、この液に硫酸第一鉄アンモニウム（モル塩、 $Fe_2SO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$ ）80gを溶かす。0.2Nの本溶液1mLは炭素0.6mgに相当する。
本液は保存中に力価が落ちるので、分析の度に補正係数fを求める。すなわち、0.2N重クロム酸カリウム標準液20mLに硫酸液（硫酸1：水2）10mLを加え、更に0.2%フェニルアントラニル酸液0.5mLを加え、本液で滴定する。20を滴定液量（mL）で除するとfが得られる。
- (3) 0.2N重クロム酸カリウム標準液：105℃で乾燥した特級重クロム酸カリウム粉末9.807gを水に溶かし、1Lに定容する。長期間安定。
- (4) 0.2%フェニルアントラニル酸液：N-フェニルアントラニル酸（ $C_{13}H_{11}O_2N$ ）0.2gと無水炭酸ナトリウム（ Na_2CO_3 ）0.2gに水5mLを加えて溶かし、更に水95mLを加える。

4) 補足説明

- (1) 従来法では加熱条件が5分間と短く、分解程度や再現性にやや難がある。小型ロートの代わりに凝縮器（簡易水冷管）を用いた改良法では、重クロム酸自身の分解を抑えながら長時間煮沸することが可能で、有機炭素の分解もほぼ完了する。
- (2) 有機物の極めて多いサンプルでは、土の量は0.05gとし、クロム酸・硫酸混液を15～20mLに増量して行う。
- (3) もし、滴定液を入れすぎたら0.2N重クロム酸カリウム標準液を1mL追加し、滴定を続けて終点を読み、その滴定値から1/fを差引くと正しい値が得られる。また、滴定値は空試験滴定値の1/2～3/4が適量。
- (4) 分解反応終了時に液の色が緑色となっている場合は、土の量が多すぎるので最初からやり直すこと。
- (5) 六価クロムを含むので廃液処理には注意すること。
- (6) サンプル中の全炭素（T-C）を測る機械としては、CNコーダー、NCアナライザー（スミグラフ）等の分析機器が市販されている。

1. 26 腐植（熊田法を基にしたSPAD簡便法）

1) 分析操作

①土2gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。

②抽出液20mLを加える

③3分間振とうし、ろ過する。

④ろ液1mLを25mLの試験管にとり、水11mLを加える。

⑤分光光度計（530nm）で比色する。

○水を比色しブランクとする（水で吸光度0に合わせる）。

2) 計算

SPAD法の条件で、腐植（%）をY、吸光度をXとすると、回帰式は

$$Y = (162.4 \times X + 24.97)^{0.5} - 4.19$$

ただし、Yが12を越える場合は適用できない。

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 抽出液

A液：特級ピロリン酸ナトリウム（ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）22.3gを約400mLの水に溶かす。

B液：特級NaOH10gを約400mLの水に溶かす。

抽出液：A液とB液を混合し水を加えて計1Lに定容する。

4) 補足説明

(1) 土壌の腐植含量は通常炭素含有率%（機器分析法またはチューリン法による）の値を1.724倍したものをいう。一方、本法は狭義の腐植の含量を測るものと考えられ、未分解の泥炭を多く含むサンプルや極めて多量の腐植を含むサンプルには適用できない。

(2) SPAD法で規定している振とう機はかなり振とう強度が強いので注意すること。したがって、一般の振とう強度（1分間に80～100往復）の場合は上記の回帰式が適用できない可能性があるため、腐植含量が既知の標準土壌を用いて再検討すること。

2. 微量要素

2. 1 易還元性マンガン (Mn)

1) 分析操作

- ①土4gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。
- ②酢アン・ヒドロキノン抽出液20mLを加える。
- ③2時間おきに軽くかくはんし、6時間室温放置後、ろ過する。
- ④ろ液0.2mLを25mLの試験管にとり、水10mLを加える（51倍希釈）。
- ⑤原子吸光光度計（279.5nm）でろ液中のマンガン濃度を測定する。

2) 計算

吸光時のMn濃度をAppmとすると、
$$\text{Mn (ppm)} = A \times 51 \times 20 / 4 = A \times 255$$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 酢アン・ヒドロキノン液（1N-酢酸アンモニウム液、0.2%ヒドロキノン含有、pH7）

交換性塩基の抽出液と同じく特級酢酸アンモニウム771gを水9.40Lに溶かし（計10L）、氷酢酸（希釈液）とアンモニア水（希釈液）でpHを7.0に調整する。分析する直前に、この液1Lに対して、特級ヒドロキノン（ $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ ）2gを加えて溶かし、抽出液とする。（長時間経つと赤褐色に変色する）

(2) Mn 標準液

市販のMn標準液（1000ppm）から、上記の抽出液を用いて0～5ppm液を調製する。長期保存不可。

2. 2 交換性マンガン (Mn)

1) 分析操作

①土10gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。

②酢アン抽出液25mLを加える。

③1時間振とう後、ろ過する。

④原子吸光度計（279.5nm）でろ液中のマンガン濃度を測定する。

注）原液のまま測定が可能な場合が多いが、高濃度の場合は酢アン抽出液で適宜希釈する。

2) 計算

吸光時のMn濃度をAppmとすると、

$$\text{Mn (ppm)} = A \times 25\text{mL} / 10\text{g} = A \times 2.5$$

（希釈した場合は希釈倍率を乗じる）

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 酢アン抽出液（1N-酢酸アンモニウム液、pH7）

交換性塩基の抽出液と同じく特級酢酸アンモニウム771gを水9.40Lに溶かし（計10L）、氷酢酸（希釈液）とアンモニア水（希釈液）でpHを7.0に調整する。

(2) Mn 標準液

市販のMn標準液（1000ppm）から、上記の抽出液を用いて0～5ppm液を調製する。長期保存不可。

4) 補足説明

(1) 交換性マンガンについては、平成16年指導参考事項「秋まき小麦に対する微量元素（銅・マンガン）の施用指針とその実証」¹⁾で、土壌中のマンガン供給能を判定する手法として提案された。

5) 参考文献

1) 道立十勝農業試験場. “秋まき小麦に対する微量元素（銅・マンガン）の施用指針とその実証”. 平成16年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、2004、p. 247-249. および成績会議資料.

2. 3 0.1N塩酸可溶性銅 (Cu) および亜鉛 (Zn)

1) 分析操作

- ①土4gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。
- ②0.1N 塩酸液20mLを加える。
- ③恒温振とう機を用いて30℃（補足説明①、②）で1時間振とう後、ろ過する。
- ④ろ液を希釈せずそのまま原子吸光光度計で試料のCu、Zn濃度を測定する。
Cu：324.7nmで、標準液のCu濃度は15ppm以下にする。
Zn：213.9nmで、標準液のZn濃度は5ppm以下にする。
（試料濃度が濃過ぎた場合は、0.1N塩酸液で希釈する。）

2) 計算

吸光時のCu濃度をAppmとすると、Zn濃度をBppmとすると

$$\text{Cu (ppm)} = A \times 20\text{mL} / 4\text{g} = A \times 5$$

$$\text{Zn (ppm)} = B \times 20\text{mL} / 4\text{g} = B \times 5$$

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) 0.1N 塩酸液：市販の1N 塩酸(HCl)液を10倍に薄める。
- (2) Cu、Zn標準液：市販の1000ppm標準液から0.1N 塩酸液を用いて調製する。長期保存不可。

4) 補足説明

- (1) 30℃の恒温振とう機を用いず、室温で抽出した場合、可溶性Cu、Znは、抽出温度が低くなるに従って、分析値が低下するため、表1に示した抽出温度別の補正係数を用いて補正する¹⁾。
- (2) 可溶性Cuは2ppm以下の推定値の振れが大きく、その傾向は抽出液温度が低いほど顕著である。そのため、診断基準の下限値(0.5ppm)付近を精度よく求める場合は、現法(30℃抽出)で行う¹⁾。

表1 抽出温度別の補正係数

抽出温度	補正係数 (y=axのa値)	
	Cu	Zn
20	1.05	1.12
21	1.05	1.11
22	1.04	1.10
23	1.04	1.09
24	1.03	1.08
25	1.03	1.06
26	1.02	1.05
27	1.02	1.04
28	1.01	1.03
29	1.01	1.02
30	1.00	1.00

y:30℃補正值

x:室温での分析値

5) 参考文献

- 1) 道立中央農業試験場. “土壌診断のための簡易分析法 —pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃—”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、2008、p. 212—214. および成績会議資料.

2. 4 交換性ニッケル (Ni)

1) 分析操作

①土10gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。

②1N 酢アン液25mLを加える。

注) 土：液比は1:10、1:5、1:2.5など諸法がある。蛇紋岩質土壌の場合は、1:10とする。

③振とう機で1時間振とう後、ろ過する。

④原子吸光度計（279.5nm）でろ液中のニッケル濃度を測定する。

標準液のNi濃度は0~1ppm(普通土)、0~10ppm(蛇紋岩質土)とする。

2) 計算

吸光時のNi濃度をAppmとすると、土：液比を1：10として、

ニッケル (Ni) (ppm) = $A \times 25\text{mL} / 10\text{g} = A \times 2.5$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 1N 酢アン液 (1N 酢酸アンモニウム液、pH7)

交換性塩基の抽出液と同じく、特級酢酸アンモニウム771gを水9.40Lに溶かし（計10L）、氷酢酸（希釈液）とアンモニア水（希釈液）でpHを7.0に調整する。

(2) Ni標準液：市販の1000ppm標準液から1N 酢アン液を用いて調製する。長期保存不可。

4) 補足説明

(1) ニッケル (Ni) の分析法は何種類もあり、定点法では過塩素酸分解法、標準法では過塩素酸分解法と0.1N-塩酸抽出法が記載されており、環境庁では0.2M 酢アン (pH4.5) 法が採用されている。定点法、標準法とも「交換性ニッケル」の分析法は載っていない。

(2) 本分析法は道の診断基準値の基となったもので、以下の資料に記載されている。

「蛇紋岩質土壌の化学的特性と農作物の生理障害に関する研究（北海道立農業試験場報告、第29号、1979）」。この中では、抽出条件として「時々かくはんしながら室温で24時間放置する」とされているが、「1時間振とう」と実用上差はないとされているので本書ではこれを用いた。

(3) 「重金属測定法」の「交換性ニッケル」の項では、土：液比が1：2.5（10g/25mL）で、蛇紋岩質土壌の場合のみ1：10（2.5g/25mL）と規定されている。また、上川農業試験場（横井ら）は1：5で1時間振とう法を採用している。

2. 5 熱水可溶性ホウ素 (B)

1) はじめに

分析法(1992 改訂版)では、土壌中のホウ素の分析法としてクルクミンシュウ酸法を採用しているが、この分析法は手技が煩雑であることや硝酸をはじめとした共存物質の影響を受けやすいことが問題点として指摘されてきた。さらに、平成 20 年の指導参考事項¹⁾では、操作が簡易で共存物質の影響を受けにくいアゾメチンH法の適用性が検討され、クルクミンシュウ酸法から全面的に切り替えることが望ましいとの結論が得られていることから、ここではアゾメチンH法について記載する。なお、本法は SPAD のホウ素測定法を一部改変したものであることから、測定に当たっては SPAD のホウ素測定用の試薬をあらかじめ用意する。

2) 分析操作

- ①土15gを100mLのテフロン製三角フラスコに採取する。
 - ②水30mLを加え軽く振り混ぜてアルミホイルでふたをする。
 - ③200°Cに加熱したホットプレートに乗せ、沸騰が始まってから正確に5分間加熱する。
 - ④終了後直ちにろ紙 (No. 5C) にてろ過する。
 - ⑤ろ液5mLをふたの出来るポリ試験管に採取する。
 - ⑥ホウ素測定試薬に付属する脱色剤を薬サジの裏で軽く一杯 (175mg程度) 加えふたをする。
 - ⑦振とう機等で激しくかくはんし、小型のろ紙 (No. 5C) でろ過する。
注) 濁りが残る場合は0.45 μm のメンブランフィルターを通す。
 - ⑧ろ液 1.4mL を別の試験管にとり、ホウ素測定試薬に付属する発色液 0.6mL を加え良く混ぜる。
注) 発色液は直前に調製すること。
 - ⑨415nm の吸光度を測定し、ホウ素を定量する。
- 標準濃度液としてホウ素0ppm液および1ppm液について、上記⑧～⑨の分析操作を行う。

3) 計算

上記分析操作⑧～⑨のろ液のホウ素濃度をAppmとすると、
ホウ素 (B) (ppm) = $A \times 30 / 15 = A \times 2$

4) 溶液、試薬の作り方

- (1) 脱色剤：SPADのホウ素測定用の試薬を用いる。
- (2) 発色液：SPADのホウ素測定用の試薬を用い、直前に調製する。長期保存不可。
- (3) ホウ素標準液：市販の1000ppm標準液から脱塩水を用いて調製する。長期保存不可。

5) 補足説明

- (1) 上記分析操作⑤～⑦で脱色剤の分別に遠心分離器を用いる場合は、サンプル溶液2mLをエッペンチューブ (2mL 容) にとり、脱色剤をミニスパチュラ2杯 (約70mg) 加えて振とうし、そのまま遠心分離した上清を測定に用いることができる。
- (2) アゾメチンH法は、従来のクルクミンシュウ酸法に比較して硝酸等共存物質の影響をほとんど受けず、煩雑な

前処理も必要ない簡便な測定法である。

- (3) アゾメチンH法によるホウ素定量値は、クルクミンシュウ酸法と密接な相関関係にあったが、やや低い値を示した(図3)。この要因は不明であるが、最近の知見によりアゾメチンH法の方が、実際の値に近いと判断された。
- (4) アゾメチンH法では、ブランク液においても415nmの吸光度を有する。すなわち、415nmの吸光度を測定する際に、脱塩水でベースラインを補正(吸光度=0)すると、ホウ素0ppmにおける吸光度が0.1から0.8程度と比較的高い値を示す。これは、発色液そのものが着色しているためである。ただし、検量線の直線性は吸光度2.0程度までは良好であるため、測定には影響しない(図4)。
- (5) 現在のガラス製品は硬質のものがほとんどなので、いずれもガラスにホウ素が含まれている可能性がある。極微量のホウ素を分析する場合は、測定結果に影響を及ぼさないテフロンあるいはポリ容器を使用した方が確実である。
- (6) 平成20年の指導参考成績¹⁾では、補足資料として成績書のp. 37に、ホットプレート²⁾の代わりにオートクレーブ(105°C・1時間加熱)を用いた抽出法が検討されている。その結果、ホットプレート法とオートクレーブ法の回帰式はほぼ $y=x$ に乗るが、バラツキが若干大きいため、さらに詳細な検討が必要とされている。

6) 引用文献

- 1) 道立中央農業試験場. “土壌診断のための簡易分析法 —pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃—”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2008, p. 212-214. および成績会議資料。

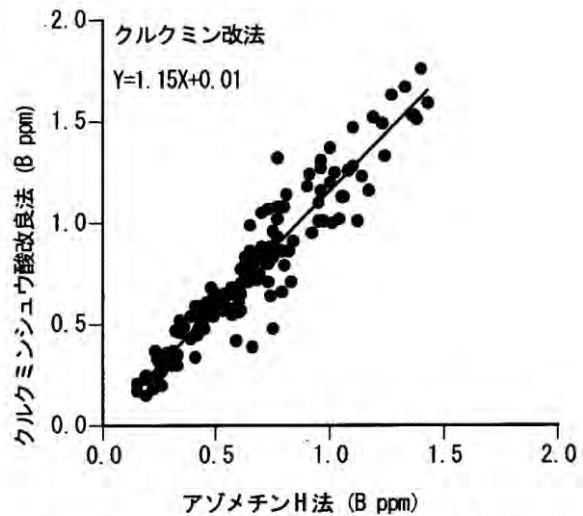


図3 クルクミンシュウ酸法とアゾメチンH法によるホウ素定量値の関係

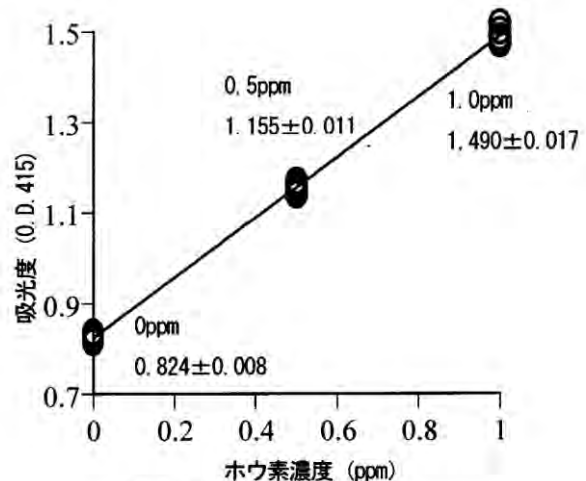


図4 アゾメチンH法におけるホウ素標準検量線(6反復、数値は平均値±標準偏差)

3. α -グルコシダーゼ活性

1) 分析操作

(1) 土壌採取法・前処理

①土壌の採取に当たってはたい肥、作物根、前作残渣等の有機物をなるべく避ける。また、土壌表面が極端に乾燥している場合には、その部分を取り除いて土壌を採取する。土壌採取後直ちに分析することが望ましいが、それができない場合には土壌を冷暗所に保存し、10日以内に分析する¹⁾。

②植物根や粗大有機物等を取り除きながら生土を包丁などでみじん切り状に刻み4mmのふるいに通す。なお、ふるい通しは以下の分析操作の直前に行う。分析値は乾土当たりで表示するため、含水率も測定する。

(2) 測定法

①生土2gを直径18mmのポリ試験管に秤量する。ブランクとして、土壌を入れないポリ試験管を用意し、以降同様に行う。

②4-Methylumbelliferyl- α -D-glucopyranoside溶液 2mLを添加し、直ちに試験管ミキサーで土塊が無くなるまでかくはんする。かくはん時間はおおむね30~45秒間である。

③30°Cの恒温水槽で正確に60分間反応させた後、エタノール18mLを加え、ゴム栓をして手で激しく振とうして反応を停止させ、直ちにNo. 5Bのろ紙で試験管にろ過する。

④ろ液0.1mLを試験管に取り、トリス緩衝液7mLを添加してかくはんする。標準液も同様に行う。

⑤蛍光分光光度計（励起波長360nm、蛍光波長450nm）で測定する。

2) 計算

$$\alpha\text{-グルコシダーゼ活性 (pmol g}^{-1}\text{ min}^{-1}) = \frac{(\text{試料の吸光度} - \text{ブランクの吸光度})}{(\text{標準液の吸光度})} \times 1667 \times \frac{100}{(100 - \text{含水率}\%)}$$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 4-Methylumbelliferyl- α -D-glucopyranoside溶液：4-Methylumbelliferyl- α -D-glucopyranoside 25mgに脱塩水100mLを加えて溶解する（50点分に相当）。分析当日に作成するが、溶解に時間を要するため、事前に用意しておくことよい。

(2) 標準液(10^{-5} mol L⁻¹ 4-Methylumbelliferone)：4-Methylumbelliferone (7-Hydroxy-4-methylcoumarin) 176.2mgを適量のエタノールに溶解後、脱塩水で100mLに定容する。この溶液(10^{-2} mol L⁻¹)を1000倍希釈したものを標準液とする。分析当日に作成する。

(3) トリス緩衝液：2-アミノ-2-ヒドロキシメチル-1,3-プロパンジオール（トリス（ヒドロキシメチル）アミノメタン）3.46gを脱塩水に溶解し、1000mLに定容する。

(4) エタノール：特級試薬を用いる。

4) 補足説明

(1) 土壌の採取時期は、4月および7月以降とする。ただし、秋まき小麦の起生期から収穫期までは測定時期として適さない¹⁾。

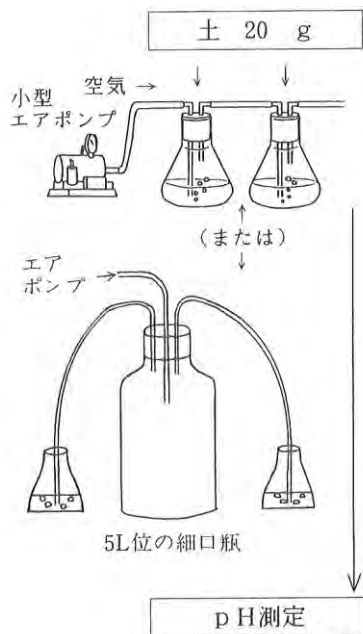
5) 引用文献

1) 道立十勝農業試験場，“畑土壌における微生物活性（ α -グルコシダーゼ活性）の実態と標準値の設定”，平成8年普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農政部，1996，p. 344-345. および成績会議資料。

4. 石灰、リン酸資材投入量算出法

4. 1 石灰中和量（炭カル添加・通気法）

1) 分析操作



- ① 100mL三角フラスコ（6ヶ用意）に土20gを秤取する。
- ②それぞれの三角フラスコに炭酸カルシウム粉末を0, 20, 50, 100, 150, 200 mg（6段階）加える。
- ③水50mLを加え、一旦かくはんした後、室温で24時間放置する。
- ④栓をして、振とう機で5時間振とうする。
- ⑤小型のエアポンプ（または足踏み式のふいご）でけん濁液中に毎分2Lの割合で2分間通気する。
- ⑥直ちにガラス電極をそう入して、pHを測定する。

2) 計算

測定値から図5のような緩衝曲線を作成し、これより読み取った目標pHに相当する炭カル（ CaCO_3 ）の量をAmgとすると、深さ10cm当りの炭カル施用量は、土壌の仮比重をBとして、

$$\text{炭カル施用量 (kg/10a)} = A \times B \times 5$$

$$\text{同 (t/ha)} = A \times B \times 0.05$$

仮比重は火山性土では0.6~0.9、土砂（客土）の混入の少ない泥炭土では0.5~0.8、その他一般の土壌では0.9~1.2程度である。施肥ガイド2010のp.69では、仮比重を火山性土で0.8、その他で1.0としている。

例) グラフより読みとった目標pH6.5相当の炭カル量を135mg、仮比重を1.1とすると

$$\text{炭カル施用量} = 135 \times 1.1 \times 5 = 743 \text{ (土層10cm当りkg/10a)}$$

3) 補足説明

- (1) 農地開発事業（開畑：普通畑と牧草飼料畑）では、改良深15cmで Ca(OH)_2 溶液法または炭カル粉末法で行っていた。
- (2) 草地開発事業では改良深15cm、目標pH6.5として炭カル添加・通気法によっている。ただし、従来法の炭カル添加法（1：5）も認められている。

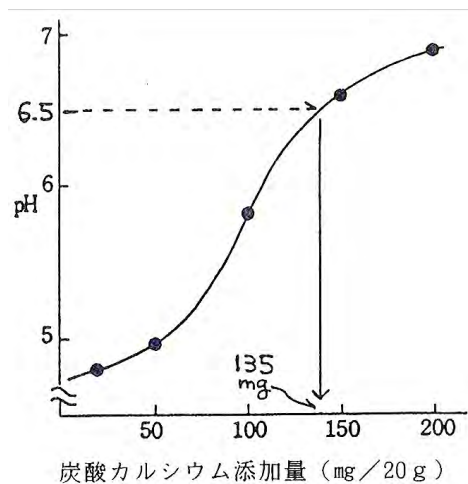


図5 pH緩衝曲線（例）

4. 2 石灰中和量（アレニウス表による算出法）

1) 分析操作

常法でpH（水）を測定。

2) 計算（道の施肥設計システムの方法を述べる）

改良目標pHをA、測定pHをB、仮比重をC、アレニウス係数をfとすると、

炭カル施用量（土層10cm当りkg/10a）

$$= (A-B) \times C \times f \times 10 \text{ (普通畑、野菜畑、樹園地、草地造成更新)}$$

$$= (A-B) \times C \times f \times 5 \text{ (草地維持管理)}$$

*アレニウス係数fはpHを0.1上昇させるのに必要な炭カル量（土層10cm当りkg/10a）で、以下の表を用い、土性と腐植含量より決定する。

*仮比重C：未測定の場合、火山性土は0.8（分析法（1992改訂版）では0.7としていたが、施肥ガイド2010のp. 69に従い0.8とする）、他の土壌では1.0とする。

*野菜畑で、電気伝導率（EC）が $0.2 < EC \leq 1.0$ の場合は「EC+測定pH」を補正pHとしてBに代入することとする。

表2 アレニウス係数（f）（下のアレニウス表より算出したもの）

腐植土性	S	S L	L	C L	C	腐植土	泥炭
含む	8	17	25	34	42	83	99
富む	13	25	34	42	51	83	99
すこぶる富む	20	39	51	62	73	83	99

注) 腐植土は腐植含量20～30%、泥炭は同30%以上とする。

表3 アレニウス表による酸性矯正用炭酸石灰施用量

〔矯正目標pH6.5（水）に要する10a当たりkg〕

土性	腐植含量	pH												
		4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
砂壤土 SL	含む	424	300	356	323	289	255	221	188	154	120	86	53	15
	富む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
	頗る富む	986	908	829	750	671	593	514	435	356	278	199	120	41
壤土 L	含む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
	富む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	頗る富む	1,268	1,166	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
埴壤土 CL	含む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	富む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	頗る富む	1,549	1,425	1,301	1,178	1,054	930	806	683	559	435	315	188	64
埴土 C	含む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	富む	1,268	1,166	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
	頗る富む	1,830	1,684	1,538	1,391	1,245	1,099	953	806	660	514	368	221	75
腐植土		2,063	1,898	1,733	1,568	1,403	1,238	1,073	908	743	570	413	248	83

(注) 消石灰使用の場合は0.75を乗じた量を施用する。

火山灰土の場合は普通土壌より比重が軽いので、この量より20%程度を減じた方がよい。

4.3 リン酸資材算出法（リン吸法、リン吸・ブレイ併用法、施肥倍率表法）

1) 分析操作

常法でリン酸吸収係数、または可給態リン酸（トルオーグ法またはブレイ法）を測定する。

2) 計算

(1) リン酸吸収係数より求める方法（農地開発事業）

開畑（普通畑、牧草飼料畑）の場合はリン吸の1%、開田の場合は0.5%相当量を15cm深に施用

リン酸 (P_2O_5) 量 (kg/10a) = (リン吸の値) × (仮比重) × 0.015 (開畑)

〃 〃 = 〃 × 0.0075 (開田)

(例) 開畑でリン吸1430、仮比重0.95のとき、土層15cm当りでは

$$P_2O_5 \text{ (kg/10a)} = 1430 \times 0.95 \times 0.015 = 20.4$$

注) 開畑の場合、火山性土ではトルオーグーリン酸が2mg以上、非火山性土では同10mg以上を改良目標とする。
資材は過石、熔リン等が普通用いられる。

(2) リン酸吸収係数とブレイーリン酸より求める方法（草地開発事業）

リン吸をA、ブレイーリン酸値より求めたリン酸量をB (kg/ha) とすると、

$$\text{リン酸 (} P_2O_5 \text{) 施用量 (kg/ha)} = 0.05A + B + 150$$

(ブレイーリン酸は1:20法による。ただし、最低施用量を200kg/haとする。)

Bの値はブレイーリン酸の分析値より次の3段階とする。

$$0 \sim 5 \text{ mg/100g のとき} \quad B = 50$$

$$6 \sim 10 \quad \text{〃} \quad B = 25$$

$$11 \sim \quad \text{〃} \quad B = 0$$

例1 ブレイーリン酸が6mg、リン吸が1680とすると、

$$P_2O_5 \text{ 施用量 (kg/ha)} = 0.05 \times 1680 + 25 + 150 = 259$$

例2 ブレイーリン酸が12mg、リン吸が780とすると、

$$P_2O_5 \text{ 施用量 (kg/ha)} = 0.05 \times 780 + 0 + 150 = 189 \rightarrow 200 \text{ とする。}$$

注) この方法は道の施肥設計システムの、草地造成更新に関して使っている。

(3) リン酸施肥倍率表による算出法

道の施肥設計システムでは、水田（たん水前）、普通畑、野菜畑、樹園地に対しては以下の方法で算出している。改良深を10cmとして、

$$P_2O_5 \text{施用量 (kg/10a)} = (\text{目標}P_2O_5 - \text{測定}P_2O_5) \times \text{仮比重} \times f$$

ここで f はリン吸、土壌母材、土性から決定される数値で、以下の表より決定する。

表4 リン酸施肥倍率表

土壌	低地土		台地土		火山性土		泥炭土
	土性		土性		土性		
P吸収係数	S、SL	L、CL、C	S、SL	L、CL、C	S、SL	L、CL、C	
700以下	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	4.5	3.0
701～1500	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	3.5
1500～2000	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	5.5	4.0
2001～	3.5	4.0	4.0	3.5	5.0	6.0	4.5

(北海道土壌分析診断連絡協議会案)

また、草地維持管理に対しては

$$P_2O_5 \text{施用量 (kg/10a)} = (\text{目標}P_2O_5 - \text{測定}P_2O_5) \text{ としている。}$$

草地造成更新の場合は、前記の (2) の方法によっている。

例1 沖積土水田でブレイーリン酸 (1 : 10) が6mg、目標リン酸が10mg、仮比重1.2、土性が埴土 (C)、リン吸が800とすると、f = 3.0より、

$$P_2O_5 \text{ (kg/10a/10cm)} = (10 - 6) \times 1.2 \times 3.0 = 14.4$$

例2 泥炭土野菜畑で、作物はタマネギ、トルオーグーリン酸が48mg、目標リン酸が80mg、仮比重1.1、リン吸が1540とすると、f = 4.0より、

$$P_2O_5 \text{ (kg/10a/10cm)} = (80 - 48) \times 1.1 \times 4.0 = 141$$

例3 草地維持管理で、ブレイーリン酸 (1 : 20) が3mg、目標リン酸が10mgとすると

$$P_2O_5 \text{ (kg/10a/10cm)} = 10 - 3 = 7$$

[各種資材のリン酸含有率]

過リン酸石灰 (過石) 18～19%

熔リン 20%

重焼リン 35 ～ 36%

(注) この施肥倍率表は、本来は畑土壌 (トルオーグーリン酸) を対象とするものであろうが、施肥設計システムでは暫定的に水田土壌 (ブレイーリン酸) にも適用している。

5. その他

5. 1 酸性硫酸塩土壌の判定法

(1) 水野の方法（酸性硫酸塩土壌の判定法¹⁾）

1) 酸性硫酸塩土壌の混入した恐れのある土壌に対する分析法

(1) 分析操作

①100mLポリビンに土20gを秤取する。

②2%過酸化水素 (H_2O_2) を50mL加え、ガラス棒でかくはんする。

③室温で24時間放置後、ろ過する。

④液中の SO_4 を塩化バリウム-ゼラチン法による比濁法で定量する。

注) 本比濁法については、日本分析科学会北海道支部編“水の分析 第4版”. 化学同人, 1994, p. 157-158、あるいは同“水の分析 第5版”. 化学同人, 2005, p. 257-259を参照すること。

(2) 判定法

土の中にSが明らかに多く存在する (SO_4 としておよそ0.1~0.2%以上) 場合は可能性が高い。一般の土壌ではほとんど存在しない。

2) 客土材料が酸性硫酸塩土壌か否かの判定法

(1) 王水分解法の分析操作

①300mLトルビーカーに土2~5g秤取し、時計皿でふたをする。

②王水（塩酸3：硝酸1の混合液）を20~50mL加える。

③ホットプレート上でゆるく加熱し、亜硝酸ガスがほとんど出なくなつてから時計皿を除去する。

④硝酸を完全にとばし、塩酸を5~10mL残す。

⑤放冷後、100mLメスフラスコに洗浄ろ過し、定容する。

⑥1) (1) と同様に、定容したろ液の SO_4 の定量を行う。

(2) アルカリ融解（溶融）法の分析操作

①50mL容白金蒸発皿に土2gを入れる。

②無水炭酸ナトリウム10gを加え、よく混合する。

③マッフル炉内で950°Cで15～30分間加熱溶融する。

④放冷後、塩酸液（塩酸1：水1）50mLを加え、内容物を溶かしてから、湯浴上またはホットプレート上で蒸発乾固させる。

⑤うすい塩酸液（塩酸1：水5）50mLを加え、約10分間加温し溶解させる。

⑥放冷後、液を100mLメスフラスコにろ過して、ケイ酸をろ別し、定容する。

注) 以上、基本的な操作の流れを書いたが、本分析法はかなり手間がかかり、かつ細かな注意が必要なため、分析経験者に良く聞いて行った方が良い。

⑦1) (1) と同様に、定容したろ液の SO_4 を定量する。

(3) 判定法

この両者どちらかの方法によるSの含有率が0.1%以上（ SO_4 として0.3%以上）の土壤を酸性硫酸塩土壤とみなす。

(2) 佐々木の方法

1) 各種方法によるpHの測定

(1) pH (H₂O) 、pH (KCl) : 「1.1 pH (水) およびpH (KCl) 」を参照のこと。

(2) pH (H₂O₂) の分析操作

①100mLビーカーに土5gを秤取する。

②H₂O₂液 (30%、アンモニア水にてpH6.00に調整) 50mLを加える。

③激しい反応が収まったのち、常温でしばらく放置する。

④湯浴またはホットプレート上でゆるく加熱し、十分に酸化反応を進める。ただし、非常に激しい反応が起こり、液が飛散するので、必ずドラフト内で行い、十分な距離を保つこと。

⑤土：液比が1：10となるように水を補給する（あらかじめ全重を秤量しておくが良い）。

⑥pHを測定する。

2) 各種方法によるSの定量

(1) H₂O-S：土液比1：5で水を加え、1時間振とう後ろ過する。ろ液中のSを定量する。

(2) H₂O₂-S：上記pH (H₂O₂) 測定用の液についてSを定量する。

(3) 逆王水可溶性-S：LUNGEのバイライトの硫黄定量法に拠る。分析操作は以下の通り

①100mLビーカーに土1gを秤取する。

②逆王水 (硝酸3：塩酸1の混合液) 10mLを加え、ホットプレート上で加熱する。

③加熱しながら過塩素酸カリウム (KClO₃) を添加して遊離Sの析出を防ぎながら硫化物を溶かす。

④放冷後、ろ過によりケイ酸を分離する。

⑤ろ液にアンモニア水を加えて鉄アルミナを沈澱・除去したのち、硫酸バリウム重量法によりSO₄を定量する。

(4) 可酸化性-S：[逆王水可溶性-S] - [H₂O-S] とする。

(5) 易酸化性-S：[H₂O₂-S] - [H₂O-S] とする。

3) 補足説明

(1) Sの定量は、含量が多い場合は硫酸バリウム重量法、少ない場合は塩化バリウムゼラチンによる硫酸バリウム比濁法による。

(3) 村上の方法

1) 分析操作

①風乾細土あるいは生土2gを200mLトールビーカーに秤取する。

②過酸化水素水20mLを加え、時計皿でふたをして湯せん上で加熱する。

③1～3分後に生じる白煙を上げる激しい反応が終了したら、ビーカーを湯せんからおろして放冷する。

④土壌と溶液の比率を1:10の状態

でpHを測定する。このpH (H_2O_2) が3未満であれば酸性硫酸塩土壌とする。

2) 溶液、試薬の作り方

過酸化水素水：市販の特級過酸化水素水 (H_2O_2 を300～310g/L含有する) を、ブロムクレゾールパープル(BCP、変色範囲は5.2～7.6とされている。)を指示薬として、0.1M水酸化ナトリウムで中和する。この時のpHは5.2である。

3) 補足説明

(1) 本法は、日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法委員会編. “土壌環境分析法”. 博友社, 1997, p. 297–301 に掲載されている。

(2) 原典は、村上英行. “過酸化水素水による干拓地土壌の可酸化性硫黄の半定量法”. 土肥誌, 32, 276–279 (1961) である。

(4) 酸性硫酸塩土壌の判定基準一覧

1) 佐々木

pH (H₂O₂) 3.5以下を示す母岩および碎屑土壌を「酸性硫酸塩土壌の領域」とし、逆王水可溶性-S 0.4%以上を含む母岩を「素因を持つ母材」とした。

2) Soil Taxonomy (米国の土壌分類体系)

(1) Sulfuric horizon (顕在的酸性硫酸塩土壌)

pH (1:1水抽出) が3.5未満で、かつジャロサイトのはん紋を含む土層。

(2) Sulfidic materials (潜在的酸性硫酸塩土壌)

乾土当たり0.75%の硫黄を硫化物として含み、かつ硫黄含有量の3倍当量以下の炭酸石灰 (CaCO₃) を有するもの。

3) FAO/Unesco (thionic層)

地表から1m以内の深さにあり、酸化処理によってpH (KCl) が3.5より低くなる土層。

4) 石渡ら (佐々木の案を準用)

pH (H₂O₂) 3.5以下を示すもの。

5) 水野

乾土当たり0.1%以上の硫黄を含む土壌。分解法は王水分解法またはアルカリ溶融法による。

6) 村上

土壌1:過酸化水素水10で加熱し、放冷後のpH (H₂O₂) が3未満であれば酸性硫酸塩土壌とする。

(5) 参考文献

- 1) 道立中央農業試験場. “酸性硫酸塩土壌の判定法”. 昭和60年指導参考事項, 北海道農政部, 1985, p. 295-298. および成績会議資料.
- 2) 佐々木信夫. “新第三系に由来する酸性硫酸塩土壌 (I、その特性)”, ペドロジスト, 22(1)、2-11 (1978).
- 3) Treadwell, F, P, et al. “Analytical Chemistry II”. 8th ed., John Wiley & Sons, 1953, p. 332-333.
- 4) 石渡ら. “北海道で見いだされた酸性硫酸塩土壌および熱水変質安山岩風化物の分布と性状”. 北海道開発局 土木試験所月報, 398, 15-25 (1986).
- 5) 川崎弘. “わが国の酸性硫酸塩土壌の分布と対策”. 農業技術, 44 (9), 409-414 (1989).
- 6) 日本分析科学会北海道支部編. “水の分析 第4版”. 化学同人, 1994, p. 157-158.
- 7) 日本分析科学会北海道支部編. “水の分析 第5版”. 化学同人, 2005, p. 257-259.
- 8) 日本土壌肥料学会監修 土壌環境分析法委員会編. “土壌環境分析法”. 博友社, 1997, p. 297-301.
- 9) 村上英行. “過酸化水素水による干拓地土壌の可酸化性硫黄の半定量法”. 土肥誌, 32, 276-279 (1961).

5. 2 (参考資料) 有効態リン酸の相互読み替え

1) はじめに

北海道の土壌診断における有効態リン酸の分析法は、各作物における過去の研究成果を反映して、水田、草地ではブレイ法、畑地ではトルオーグ法が用いられている。さらに、ブレイ法は、水田と草地で抽出時の土液比が異なり、水田では 1:10、草地では 1:20 とされている。一方、国の地力増進基本指針における改善目標値は全地目がトルオーグ法で記載されており、全国的にはトルオーグ法が主流である。分析法の簡素化を考えた場合、複数の分析法が統一されて、より限られた方法で分析が可能になることが望ましい。このような事情から、異なる有効態リン酸分析法による基準値や分析値を読み替えて比較したいというニーズがある。また、土壌診断施設等では、分析法を 1 種類に統一したいとの要望も見られる。

リン酸分析法間の読み替えは、「北海道における土壌・作物栄養診断の現状と問題点」(北海道農業試験研究推進会議、昭和 63 年) (以下、「S63 資料」と略す) で示され、その結果が「土壌および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版)」に再録された。さらに、「土壌診断のための簡易分析法 —pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃—」(平成 20 年指導参考事項) (以下、「H20 成績」と略す) では、トルオーグ法から水田ブレイ法(1:10 抽出法)、草地ブレイ法(1:20 抽出法)、および水田土壌におけるブレイ 1:20 から同 1:10 への読み替え式が提案された。ここでは H20 成績の概要を紹介するとともに、一部改善点を記載する。

2) 実験方法

(1) 供試試料

供試した試料については道内の農耕地で採取された作土を用いた。

表 5 試料内訳

地目	点数	内訳
水田	58	
畑	30	(火山性土 15、非火山性土 15)
草地	33	(火山性土 17、非火山性土 16)
計	121	

(2) 分析法

①ブレイ法：本書Ⅲ-1.9 に記載の方法。土液比は 1:10 および 1:20。

②トルオーグ法：本書Ⅲ-1.11 に記載の方法。

3) 結果の概要

(1) 分析結果

供試試料 121 点のトルオーグ法リン酸の値 (mg/100g) は最小が 1.1、最大が 99.7 で平均 20.6 であった。ブレイ 1:10 法リン酸の値 (mg/100g) は最小が 1.3、最大が 204.3 で平均 43.4 であった。ブレイ 1:20 法リン酸の値 (mg/100g) は最小が 3.4、最大が 268.3 で平均 82.9 であった。

表 6 供試試料の分析結果 (mg/100g)

分析項目	分析値の範囲		
	最小	最大	平均
Truog	1.1	99.7	20.6
Bray1:10	1.3	204.3	43.4
Bray1:20	3.4	268.3	82.9

(2) 水田土壌におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:10) への読み替え

S63 資料では、ブレイ法 (1:10) リン酸からトルオーグ法リン酸を推定する読み替え式 $y=1.44x^{0.627}$ が示されており、H20 成績ではこの式の逆関数、 $y=0.559x^{1.59}$ をトルオーグ法リン酸からブレイ法 (1:10) リン酸を推定する式とした。ただし、この読み替え式ではブレイ法 (1:10) の推定値が概ね 45mg/100g 付近を越えると実測値に対して過大評価となる (図 6)。これは、トルオーグ法リン酸が 0~16mg/100g の範囲 (ブレイ法 (1:10) リン酸では 0~45mg/100g に相当) のデータを用いて読替式が作成されているため、この濃度範囲を超える領域での当てはまりが悪くなったものと考えられる。

そこで、表 1 の水田土壌 58 点を用いて、改めてトルオーグ法からブレイ法 (1:10) への読み替えを検討し、 $y=1.15x^{1.26}$ の回帰式 (寄与率 $(R^2)=0.885$) を得た。この読み替え式では、図 1 と比較して高濃度域での推定誤差が大幅に改善された (図 7)。

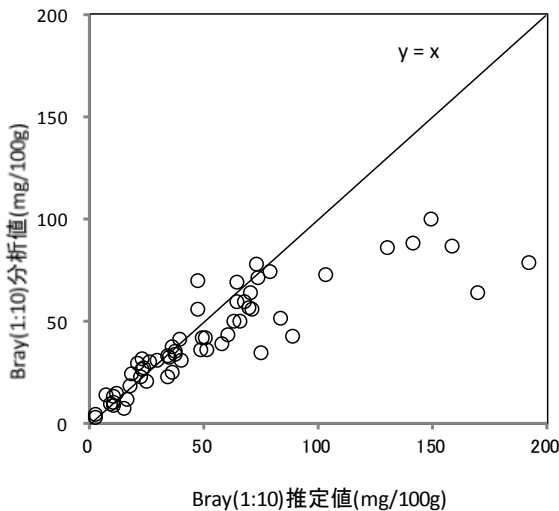


図 6 水田土壌におけるTruog分析値から、推定式 $y=0.559x^{1.59}$ を用いた場合のBray (1:10) の推定値と分析値の関係 (n=58)

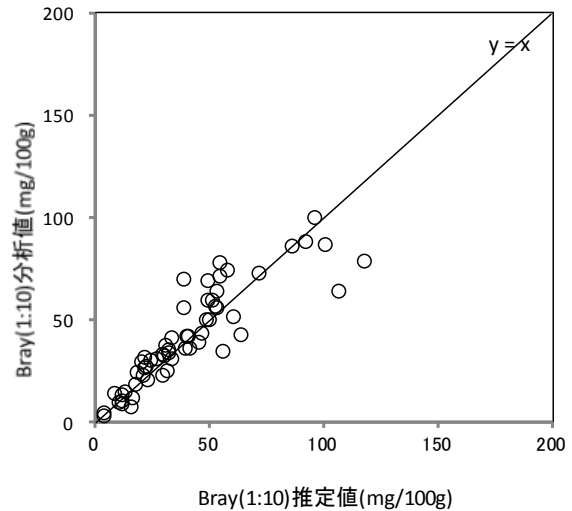


図 7 水田土壌におけるTruog分析値から、推定式 $y=1.15x^{1.26}$ を用いた場合のBray (1:10) の推定値と分析値の関係 (n=58)

(3) 水田土壌におけるブレイ法 (1:20) からブレイ法 (1:10) への読み替え

S63 資料では、ブレイ法 (1:10) リン酸からブレイ法 (1:20) リン酸を推定する読み替え式 $y=4.18x^{0.803}$ が示されており、H20 成績ではこの逆関数、 $y=0.168x^{1.25}$ を、ブレイ法 (1:20) リン酸からブレイ法 (1:10) リン酸の推定式とした。この読み替え式を用いた推定値と実測値の関係は、図 8 に示すデータの範囲では、概ね $y=x$ の線の周囲に分布した。

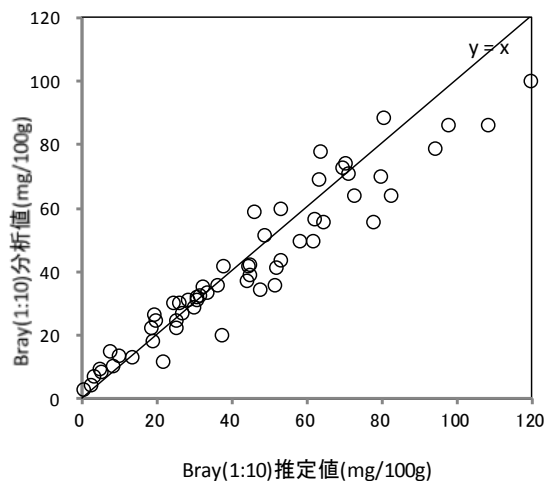


図 8 水田土壌におけるBray(1:20)分析値から、推定式 $y=0.168x^{1.25}$ を用いた場合のBray (1:10) の推定値と分析値の関係 (n=58)

(4) 畑・草地土壌 (火山性土) におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:20) への読み替え

S63 資料では、畑・草地土壌 (火山性土) におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:20) リン酸を推定する読み替え式 $y=7.56x^{0.811}$ が示されており、H20 成績もこの読み替え式をそのまま採用している。この読み替え式を用いた推定値と実測値の関係 (図 9) は、概ね $y=x$ の線の周囲に分布するが、高濃度域でややばらつきが拡大する傾向にある。

(5) 畑・草地土壌(非火山性土)におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:20) への読み替え

S63 資料では、畑・草地土壌(非火山性土)におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:20) リン酸を推定する読み替え式 $y=5.74x^{0.807}$ が示されており、H20 成績でもこの読み替え式をそのまま採用している。この読み替え式を用いた推定値と実測値の関係 (図 10) は、概ね $y=x$ の線の周囲に分布するが、高濃度域では誤差が大きいことから、その適用範囲はトルオーグ法リン酸が 25mg/100g 以下 (ブレイ法 (1:20) リン酸が 80mg/100g 以下) 程度とすることが適当と考えられる。

したがって、先の火山性土の場合も含めて、トルオーグ法からブレイ法 (1:20) への読み替えにあたっては、推定値が 80mg/100g 以上となった場合には数値表示を行わず、「80mg/100g 以上」とするなどの対応が望ましい。

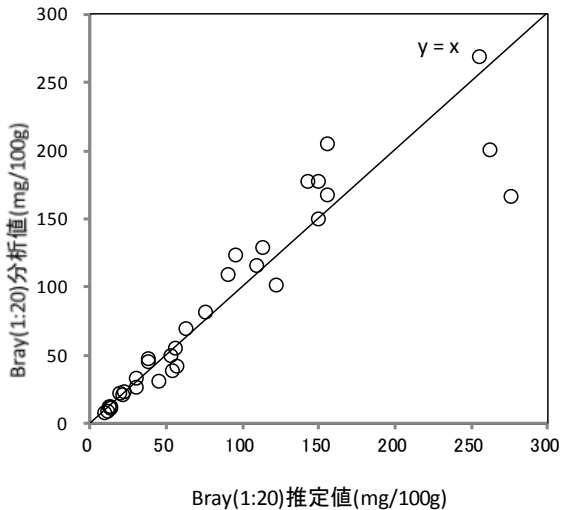


図9 畑・草地土壌(火山性土)において、Truog分析値から推定式 $y=7.56x^{0.811}$ を用いた場合のBray(1:20)の推定値と分析値の関係(n=32)

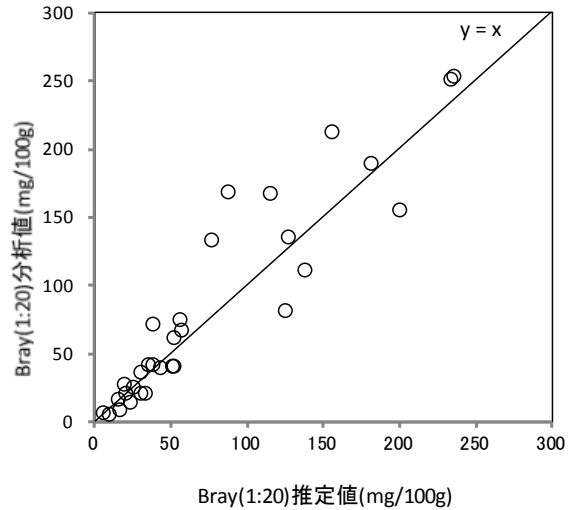


図10 畑・草地土壌(非火山性土)において、Truog分析値から推定式 $y=5.74x^{0.807}$ を用いた場合のBray(1:20)の推定値と分析値の関係(n=31)

(6) まとめ

以上の検討結果を表7にまとめた。水田土壌におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:10) への読み替えには、 $y=1.15x^{1.26}$ 、ブレイ法 (1:20) からブレイ法 (1:10) への読み替えには、 $y=0.168x^{1.25}$ の読み替え式が利用できる。畑・草地土壌におけるトルオーグ法からブレイ法 (1:20) への読み替えには、 $y=7.56x^{0.811}$ (火山性土)、 $y=5.74x^{0.807}$ (非火山性土) の読み替え式が利用できるが、その適用範囲は、トルオーグ法リン酸が 25mg/100g 以下(ブレイ法 (1:20) リン酸が 80mg/100g 以下) 程度である。

表7 可給態リン酸の相互読み替え式

対象	x	y	回帰式($y=ax^b$)		寄与率 R^2	xに以下の値を当てはめたときのyの値				注
			a	b		x=5	x=10	x=20	x=50	
水田	Truog	Bray(1:10)	1.15	1.26	0.89	9	21	50	159	—
水田	Bray(1:20)	Bray(1:10)	0.168	1.25	0.86	1	3	7	22	—
畑・草地、火山性土	Truog	Bray(1:20)	7.56	0.811	0.83	28	49	86	180	x=25以下に適用
畑・草地、非火山性土	Truog	Bray(1:20)	5.74	0.807	0.80	21	37	64	135	x=25以下に適用

6. 参考文献・資料

- 1) 道立中央農業試験場, 道農政部農業改良課. “土壤および作物栄養の診断基準—分析法—”. 1981.
 - 2) 道立中央農業試験場, 道農政部農業改良課. “土壤および作物栄養の診断基準—分析法(改訂版)”. 1992.
——分析法(1992改訂版)と略記
 - 3) 農林水産省農蚕園芸局農産課編. “土壤環境基礎調査における土壤、水質および作物体分析法”. 1979.
——一定点法と略記
- なお、本書は以下の書名で全く同内容のものが再発行されている。
「土壤作物体分析機器開発事業 土壤、水質および作物体分析法(1985年, (財)農産業振興奨励会)」
- 4) 日本土壤肥料学会監修 土壤標準分析・測定法委員会編. “土壤標準分析・測定法”. 博友社, 1986.
——標準法と略記。本法は土壤肥料学会における標準分析法となっている。
 - 5) 富士平工業. “SPAD「SFP-2土壤・作物体総合分析装置」分析方法マニュアル”. 1988.
——(SPAD法と略記)

注) SPAD (Soil & Plant Analyzer Development) は、土壤・作物の栄養診断を正確かつ能率的に行うための機器開発を目的とした農林水産省農蚕園芸局農産課の土壤・作物体分析機器開発事業の略称である。

- 6) 日本分析化学会北海道支部編. “水の分析 第3版”. 化学同人, 1981.
- 7) 日本分析科学会北海道支部編. “水の分析 第4版”. 化学同人, 1994.
- 8) 日本分析科学会北海道支部編. “水の分析 第5版”. 化学同人, 2005.
- 9) 越野正義 編著. “第二改訂 詳解肥料分析法”. 養賢堂, 1988.
- 10) 北海道農業試験研究推進会議. “北海道における土壤・作物栄養診断の現状と問題点”. 1988.
- 11) 日本土壤協会. “土壤改良資材の試験方法および効果検定法”. 1990.
地力増進法で規定されている「土壤改良資材」についての分析法
- 12) 農産業振興奨励会. “堆きゅう肥等有機物分析法”. 1985.
本書は1979年に農林水産省農産課から発行された同名の資料の再発行本である。
- 13) 日本土壤肥料学会監修 土壤環境分析法委員会編. “土壤環境分析法”. 博友社, 1997.
- 14) 日本土壤協会. “土壤機能モニタリングのための土壤、水質及び植物体分析法”. 2001.
- 15) 渋谷政夫、小山雄生、渡辺久男. “重金属測定法、土壤汚染元素と定量法の解説”. 博友社, 1978.
- 16) 道立北見農業試験場. “林産廃棄物(パーク)の堆肥化指標と畑地への施用法”. 昭和58年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 1983, p. 375-389. および成績会議資料。
- 17) 道立中央農業試験場. “土壤診断のための簡易分析法 —pH、N、P₂O₅、SiO₂、Cu、Zn、B、Fe₂O₃—”. 平成20年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2008, p. 212-214. および成績会議資料。