

工学における土壌学

須藤清次

(山形大農)

§1 土壌学 (soil science—pedology) は現在までに多くの成果をあげており、秀れた体系的教科書をもっている。しかしその内容は農学の基礎学¹⁾の域を出ておらず、施肥法栽培学等にたいして多くの準備がなされている。

農学関係以外においても土壌 (soil) を取扱う分野は多い。工学では soil は土質という名称で呼ばれ、土木材料として重要な位置をしめている。今日の段階では工学の面からの土壌の研究は未だ出発をはじめたばかりであるが、特殊な立場として見過し得ないものがある。米国における農学者と工学者の交渉の深まりについて、松尾の印象記²⁾は soil science society の会合に工学者が出席者の半数を占めていたことを伝えている。

土壌 (土質) 学の工学的発展のためには当然既成の土壌学が基礎となり、その知識を吸収するだけでも工学において新しい面を拓くことができるわけであるが、なおいままで土壌学に登場していない研究方法³⁾が新しく求められなければならない。以下に土壌学の工学的特徴を整理して、研究の方向を考えてみたい。

§2 土壌物理学では力学面と農学的面が研究されてきた⁵⁾。前者は農業土木で、後者は土壌肥料で進められた。いま工学的土壌学を論議する立場から、土壌物理学 (土壌学の) の成果のうち二、三のものをあげよう。

R. K. Schofield の pF 表示による土壌水分の測定がわが国で研究されて以来⁶⁾、土壌水分の内容は土壌の種類の違いにかかわらず一義的に pF で表示することが普及している。それに関係しては、土質力学では剪断力突固め最適含水比・液塑性限界等が水分%で定義され、土の力学性質は他の諸性質と独立した存在のようにみえた。これら pF 表示による研究の結果、力学的水分恒数は pF. 1.4, 2.3, 3.0, 5.5 で定義された⁷⁾。前の三つは圃場土壌の水分恒数に当り⁶⁾⁸⁾、農学と工学とが土壌学において深い関係で結ばれたといえることができる。これは土壌学の成果が工学に先行した見事な例の一つと考えられよう。

土壌中の水の運動は農学土木で多面的に研究され高い水準に達しているが、その内容は力学的・現象論的研究が中心になつている。土壌学では水の保持者であり運動

の行われる porous media の実体⁹⁾の研究が問題になつている。火山灰では透水係数の飛躍的变化をもたらす微細団粒 (0.02~0.04mm) が認められ、sand, silt, clay の分類の意味を明確にしたといえよう¹⁰⁾。水田では 1~0.25mm の団粒が多いが¹¹⁾、水田の浸透の大小は 0.1mm と 0.04mm の微細団粒構造に依存しているといわれる¹²⁾。大団粒と小団粒とは分析の条件により変わると考えられるが、火山灰については大団粒は 0.02~0.04mm の小団粒から成つていることが認められている¹³⁾。大団粒の結合は易溶性腐植ともみられる¹⁴⁾。団粒化過程について F. Sekera は一次団粒 (小団粒) は無機有機コロイドにより団粒がつくられ、それによつて作られる孔隙が微生物の働く場となつて生物質で二次団粒がつくられるという仮定を提出している¹⁵⁾。この説の一次団粒の結合は土壌学の古典的な無機的結合の機構¹⁶⁾を基礎にしての考えとみられるが、耐水性の問題について十分に応え得ないと考えられる。これについてはまた後で触れる。

土壌三相系を巨視的にみると、土壌生成過程により大別され沖積土の固相は最大で約50%・火山灰土の固相は最大で約25%である¹⁷⁾¹⁸⁾⁸⁾。三相分布は季節、耕耘によつて変化をする¹⁶⁾。

土壌構造の変革を人工的に行なうという問題は土壌改良剤 (soil conditioner) の登場により注意がひかれた。クリリウム等により土壌の物理性は変るが、火山灰土では団粒化の効果はみられない²⁰⁾²¹⁾。火山灰土の団粒化はベントナイトやテルナイト (有機物) も効果がみられない。火山灰土は巨視的には非常に porous であつて他の土壌とは変つていることは明らかであるが、この土壌構造を帰納的に研究する段階¹³⁾²²⁾は終り、アロフェインの性質から演繹して研究が進められなければならないだろう。火山灰土の問題はわが国で特に重要な課題である。土壌改良剤による団粒化は『水溶液の状態』で高分子電解質が結合剤になるという意味で特徴をもっている。²³⁾²⁴⁾ 結合作用については Ca^{+2} が架橋になるという考え²³⁾と Ca^{+2} に関係なく粘土と結合剤に水素結合した水分子の結合水層によるとする考え²⁴⁾がある。その両者いずれが誤つていても、粘土の陰荷電によ

ることは間違いないことである。アロフェインが pH. 6 附近で等電点があり置換酸度が 0 でかつ OH 基が脱し易い²⁵⁾ というような点に前述の土壌改良剤が働かないことの鍵があると考えられよう。この問題は工学的問題で重要な課題となる。Clay-Bitumen の安定は Ca^{+2} 架橋で解決された²⁶⁾ (Bitumen は陰荷電) が、土壌学的方法が既に工学で成果をあげた例といえよう。

§ 3 土壌学が意識的に工学で研究されはじめたのは 1924 年からで、この課題に 30 年間取り組んできた Hans F. Winterkorn により『engineering pedology』の名称で呼ばれてきた²⁸⁾²⁹⁾。とくに第二次大戦中に南方のラテライト土を材料とした際の土木施工上の問題解決のために土壌学の重要性が再認識されてきた。土木工学上の基準に盛られている物理的意味は欧米の風土に生成した土壌での経験的規則であつて、universal には適用できない。モンモリナイトが優勢な乾燥ラテライトでは swelling pressure は 11.5 ton/ft² に達する。道路学上には特に大きな変化がある (例えば F. N. E=60~250, 塑性指数 = 0~100, C. B. M は過大または過小等*)。chemical additive の添加による土壌の安定の問題は土壌学の知識なしには取り扱えない。土壌に添加物を入れて土壌の可塑性を変えるという取扱法はエジプト時代にさかのぼる。かのパロ王が土工に際して薬の投入を指示しなかつたためにイスラエル人の奴隷から不満がでたという話がある³⁰⁾。ラクダの糞 (Camel dung) の使用が始まりといわれ、欧米国では薬の投入を Egyptianization といっている。

添加物の作用は土壌学の現在の知識で理解されるものが多い。その適用例をあげる。

①耐水性: trichlormethylsilicone 1% (土壌 100% にたいして) の添加により土壌の slaking を防止できる。noncohesive な砂質土には bitumen (瀝青) が使われる。逆に不安定にするには dispersant として sodium tetraphosphate が有効である。(機械分析にも使われている)。この際当然なことであるが、土壌粒子の荷電・置換容量・置換塩基・粘土鉱物等が明らかでなければならない。

②強度: 0.05mm (0.02mm としてもよいのではない) 以上の粒子は cohesionless である。強度を高めるためには 0.07mm 以下の粒子が 4% 以下になるような処置が要求される。そのために機械的に篩出せない場合には additive の投入 (bitumen や portland cement 有効) がその役割を果す。この際はダイラタンシーの問題が起る (各述)。cohesive soil の強度増加のための

* F. M. E = field moisture equivalent

C. B. M. = 路床土支持力 (California bearing ratio)

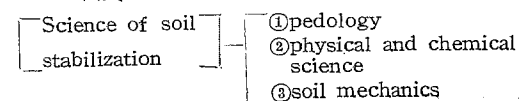
添加剤はあまり成功していないが、portland cement や acrylate salt が試みられている。有機質土壌では注入の問題もふくめて未だ解決に遠い。強度の増加とは逆に低下が要求される場合も mixing のときでてくる。そのようなときは前述の Na-tetraphosphate が有効であるが、容積密度が変つてくるから、その計算が必要となる。③滲透性: その増大には aggregant が、減少には dispersant が有効であるが、各者の場合には安定性が弱まるからなお問題点が多い。④霜上: dispersant は霜土を低下させる。

これらの問題は土木学者の土壌学に不慣れのためや実験が困難であつたりして、充分に実用化してはいない。また additive の方にも問題がある。portland cement の効果は遅いが、それは改良できるとしても滲透性が大きすぎる。滲透性を強度を保ちながち小さい値にすることができるものは未だ完成に遠い。resin は最近大きく取上げられている (クリリウムもそれ)。aniline と furfural の重合体は剪断強度を大にするが、滲透性はやはり小さくならない。AM-955 という商品は強度も不透性も満足されるといわれている。注入の問題と関係して、additive の本体と活性剤を別に添加するやり方もある。Ca. acrylate は Na. thosulfate と NH_4 persulfate で活性化すると plastic soil を firm durable structure にする。resorcinol や phenolformaldehyde resin は bitumen 系の安定作用を高める。

極めて物理学的方法が用いられるものでは耕耘と排水がある。耕耘では直線電源の ⊖ をアースし、犁刃は ⊕ にして耕耘の抵抗を減ずる。排水では局所に直線電極をセットする。何れも電気滲透の理論・土壌の陰荷電に基礎をおいている³¹⁾³³⁾。

土壌生成論的な問題については、土壌のコンシステンシー (粘稠度) は sonal soil の性質の表示に使われていないが将来はそうなるであろうと Scott Blair はいつている。ソ連だけがそういう考えを実行している。勿論 pedology において農耕・土地改良を目的としてであるが³²⁾。土壌の微視的物理性だけが工学の対象になるのではない。最適含水量における施工の問題に関係しては、土層の厚さ・土壌水分の季節的变化・毛管水の状態等が great soil group 的な把握も重要となる²⁶⁾。

§ 4 engineering pedology の研究方法は次のような特徴をもつといえよう。Winterkorn はこれについて一つの図式を示している³⁴⁾。



又土壌水分の研究については原子論・コロイド学および形態学(microscopic and macroscopic)的な三つの面からの研究を必要とするといっている³⁵⁾。E.A.H.Hauserは粘土鉱物の構造・コロイドの挙動およびイオン置換の知識が soil additive の問題を説明するとしている²⁷⁾。

一方わが国の土質力学の分解においても、何らかの方向変転が求められていると考えられる。最上³⁶⁾はいままでの土質力学は土壌物理乃至は土質工学であつて力学ではなく、数理的展開だけが行われていて物理的意味はないとしている。そして熱力学的方法をもつて土質力学の基礎をなす粘土の不透過性と粘着性等の統一的な説明を試みている。星埜³⁷⁾は第4回国際土質力学基礎工学会議の報告に際して次のような特徴をのべている。過去における土質力学は応用部門の発展は大であつたが基礎部門は立遅れている。現在各国風土に合致した発展のために地質学者の発表が多くなつている。今後は地質・鉱物・物理とくに化学者の積極的参加を期待すると結んでいる。これはengineering pedology のことを指していると考えられよう。村山等³⁸⁾は粘土の力学的性質の研究に際し、液体粘液の Eyring 空孔理論を基礎としてそれに St. Vennant 流動の slider の項を加え、レオロジカルな方法により粘土の粘性流動の理論を導いた。

土壌は一般的に表現すれば塑性体である。すなわち液体と固体の中間の性質をもっている。土壌学に工学的内容をもたせるためには、液体にも固体にも一義的に適用できる挙動の概念が必要である。それはコンシステンシー(粘稠度)といわれる。コンシステンシーは E. C. Singham によれば「……は形が永久に変化しようとするのに抵抗する性質で、流動と力との関係で定義される⁴¹⁾」。土壌乃至は粘土の挙動(behavior)が明らかになるなら、それだけでも土木工学についての関係が深いであろう。穿井の問題は粘土のテクソトロピーの理論による drilling fluid の解決がもつとも重要な因子であつた³⁾。わが国でも土壌材料のテクソトロピーが展望の問題に触れられ³⁹⁾、ダイラタンシーが砂の三軸圧縮試験に関係して研究されている⁴⁰⁾。以上は土壌の変形流動に関する現象論的取扱いということが出来る。

新しい研究方法としてのレオロジカルな面はこれだけではない。材料力学が弾性学(現象論)と金属学等の協力で進んでいるように、土壌についても現象だけでなくの実体の構造が把握されなくては材料の改良は期待することはできない。そのような分子論的立場からの土壌研究は窯業を中心に進められてきた。R. Houwink 粘土の分子論的解釈について古典的綜説を書いてい⁴²⁾。彼の綜説を中心にして土壌の構造の考え方をま

とめると次のようにならう。粘土は前述のように塑性を示すが、それは陰荷電をもつ粘土の電気二重層 counter ion の構造から出発する。さらに粘土はその結晶構造により荷電と力学的性質がきまる。結晶の Si—O—Si 結合は最も安定で、他の形式では O—Al—O > O—Mg—O > O—Ca—O 順に charge の大きい直径程また直径の小さい程結合力は強い。タルクの軟らかさは(一次結合ではあるが) O—O 結合の弱さで、またモンモリロナイトの膨潤マイカの壁開も結合力から説明できる。電気二重層の壁面の charge x は $dx = kd \log COH^-$ つまり OH^- の濃度に依存している。これは置換容量・置換塩基を規定し、それからさらに dry shrinkage や dry strength と関係してくる。粘土への水分の吸収は壁の負荷電だけでなく二重層の counter ion の正電荷によつて起る。したがつて water film の厚さ S は counter ion がなければ零となる。 S の大きさ(8 Hg/cm² の圧下での最大値)はフリント = 0、磨細した石英 = 0、カオリナイト = $0.3 \sim 3.1 \times 10^3 \text{ \AA}$ 、ペレトナイト = $3.3 \times 10^3 \text{ \AA}$ で、water film の形成されるものは plastic dough* となるが、膨潤しないもの(フリント、石英等)は plastic にならない。その機構からして plastic clay dough は active な OH と H をもつ solvent だけで起り得るから、それらのない炭水化物、石油、ベンジン等では plastic dough (P.D) はできない。また P.D は shrinkage を起すが(カオリン族では5~7%)、non-P.D ではそれが起らない。

吸湿については intermicellar swelling はすでに古典的になつている。counter ion が濡れるときは、clay はある距離に分散し粒子はポテンシャルカーブ min. の位置に到着し coagulation を防止する(H. Freundlich)。P.D の流動はテクソトロピー流動を行う⁴⁶⁾⁴⁷⁾ その完全な説明は与えられてないといえよう。構造粘性⁴⁾の考え方は一般的にはテクソトロピー流動を説明する。土壌では微細団粒の Solvation (溶媒和)による内部の溶媒(水)の immobilization により土壌のテクソトロピー流動を説明しなければならないとすれば、土壌構造についての上述の考え方がある程度肯定されるが、さらに微細な(0.02mm以下)団粒についても研究しなければならないだろう。次に clay suspension の降伏値(流動をはじめめる点)は当然のことながら二重層のポテンシャルから説明できる。OH⁻ が添加されると OH⁻ は potential determining ion であるから、壁(clay)の負荷電を大にし、したがつて反撥のポテン

* 厳密には 44) をみられたい。

シャル $\psi = Be^{-kr}/r$ が大になり potential min. は浅く
 なつて降伏値 f は小になる。中性の KCl を加えると ψ
 は小になり二重層は小になるから反撥力の径 (diffuse-
 counter ion の径と同じ) は小になる。反撥が小のと
 きは f は大になる (遠ざかるにしたがい反撥力の方が
 引力より相対的に小になるから)。diffused sphere が
 小さいと μ (粘性率) も小さくなる。二重層の ion は
 水を引きつけ (solvation) μ を大にする。一方二重層
 が小さいと団粒化が起る方向にも向うから (そのとき μ
 は大になる)、 μ の問題は複雑で簡単には規定できない。
 clay の plastic properties の解明の困難性はここにあ
 ると考えられよう。変形については次のように述べられ
 る。dry condition では引張強度は塩基置換容量に比例
 して増加する。含水量を大から小に移す過程についてみ
 ると、はじめは μ は水だけの場合 μ_0 と等しいが次第
 に大きくなり (Einstein の式 $\mu = \mu_0 (1 + 0.5\phi)$ に従
 う。 ϕ は Clay の容積分率)、Hagen-Poiseuille の法
 則で流動する。 $\phi = 2\%$ になると f に達し、Bingham
 法則に従う (2% のときは粒子径を 500A とすると間
 隔は 10^3A となり Freuntlich の film の Order-low-
 yield となる)。別の見方をすれば、一般的には Bingham
 法則の活動をやるわけであるが、ある濃度の (2%)
 ときは剪断力を増大するにしたがつて、はじめは struc-
 tural flow (径流)、次に Newtonian flow になり、さ
 らに turbulent flow になる。Einstein の懸濁液の粘
 性式は、粒子が荷電をもつていたり、濃度が高いときは
 合わなくなる⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾。粘度の場合は上述のように濃度
 の高い Clay dough を取扱う場合が多いが、これらの
 高濃度の場合について森等は Robinson の考え方に立
 つて $\mu_r = 1 + \frac{d \cdot s_r}{2\phi}$, $\phi = 1/\varphi_0 - 1/\varphi_{vc}$ (記号は文献
 参照) を導き、実測値と合うといわれている⁴⁵⁾。ここで
 φ_{vc} (二連続的かつ安定な剪断変形を与えうる限度の最
 高容積濃度) のきめ方が問題となるが、最疎充填で大体
 よいとされている。チクソトロピーは屢々経験すること
 であるが、透析すると起らない。それは ψ が小になる
 からで、チクソトロピーの大きさは $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Ba}^{+2}$
 $>> \text{A}_s^{+3}, \text{T}_a^{+3}$ 順になる。したがつて、チクソトロピ
 ーは陽イオンと関係深いから、pH, swelling, settling
 volume 等とも関係深い。

Clay の plastic properties を塑性指数等の経験的
 方法 (empirical method) による測定で表現すること
 は正しいであろうか。これに対して G. W. Scott Blair
 は、「多くの場合はレオロジカルに正しい測定値と平行
 した値が得られるが、いつも正しいとは限らない。同様
 の粘土の間で比較する場合はよいであろう」といつてい

る。それとは別な観点からみれば、経験的方法による測
 定は土壌の本質的な挙動を示すことはできないから、利
 用の範囲が限定されてくるわけである。

§ 5 土壌学が工学からみて重要な役割を果す場合
 が多い。二三の例をあげても、地之り・道路・ダム・施
 工法等があるが、農学関係でも工学的問題として耕耘水
 田のチクソトロピー等がある。したがつて土質力学の本質
 にまで迫ろうとしなくても、その前にかなり豊富な課題
 があるわけであるが、やはりそういう点にいつも留意し
 て研究を進めないならば、本質的には進歩は得られない
 であろう。

engineering pedology が明確な姿をとるためには、
 土壌学の内容に力学的内容が盛られなければならない。
 そのためには土壌の物理性の研究に新しい方法を導入し
 なければならない。その一つがレオロジーであると考え
 ているが、それについての現象論的研究法はすでに多く
 の教科書があるので、ここには贅くことをはぶいた。
 If we could first know where we are, and whither
 we are tending, we could then better judge
 what to do, and how to do it. — A. Lincoln
 一。

文 献

- 1) 星野：技術革新の根本問題, 307~324 (1958)
- 2) 松尾：土壌の物理性, No. 1 (1959)
- 3) 中川・神戸：レオロジー, 12 (1959)
- 4) Ibid, 624~638
- 5) 福田・野口：ペーパー・土壌物理学, 訳者後記 (1955)
- 6) 美園・寺沢他：農技研報告, B2 (1953)
- 7) 徳永：農土研, 25 (1) 18~24 (1958)
- 8) 須藤：農土研, 25 (8) 464 (1958)
- 9) W. L. Kubiena: micropedology, 123~198 (1938)
- 10) 須藤：土肥誌, 25 (1954)
- 11) 川口・喜田：土肥誌, 27 (9) 342~343 (1957)
- 12) 内山・鬼鞍：Ibid, 27 (11) 443~447 (1957)
- 13) 北岸・沖田：東北農試報告, 8, 62~71 (1956)
- 14) 江川他：農技研報告, B (7) 53~76 (1957)
- 15) F. Sekera: Z. Pflanzenernähr. Diing. Bodenkn. 52, 57~60 (1951)
- 16) 中山：農技研報告, B. 6. (1955)
- 17) 美園・下村：土肥誌, 29 (7) 309~112 (1958)
- 18) 須藤：農土学会講演, (1958)
- 19) 池田他：土肥誌, 26 (12) 502~504 (1956) 以後の報告,
- 20) 北岸・沖田：東北農試報告, (5) 153~161 (1955)
- 21) 木下・美園：農技研報告, B, 7, 123~160 (1957)
- 22) 美園・須藤：Ibid. B, 8, (1957)

- 23) E. A. Hauser : Silicic Science. 139~145 (1955)
 24) 東久保・奥田 : 土肥誌, 27 (8) (1956), 29 (6, 7, 8) (1958)
 25) 江川他 : 農技研青表紙, (1958) その他,
 26) F. L. D. Wooltorton : Highway. Res. Board Bull. (108) 29~57 (1955)
 26) E. A. Hausr : Idid. 58~66 (1955)
 28) Soil & Soil-Aggregate Stabilization Symposium : Ibid
 29) Altering Soil Properties with Chemicals symposium : Ind. Eng. chem. 47 (11) 2230~2281 (1955)
 30) G. W. Scott Blair, M. Reiner : Agricultural Rheology (須藤・安富の訳あり) 70 (1957)
 31) Ibid, 142~153
 32) Ibid, 127~141
 33) R. L. Rollins : H. Res. Board Bull. (108) 120~127 (1955)
 34) H. F. Winterkorn : Ibid, 1~24
 35) H. F. Winterkorn : Watersupply (Prinstn. univ.), 43~84 (1958)
 36) 最上 : 土木誌, 36, 16~20 (1951)
 37) 星野 : 土と基礎, 6 (1), 3~4 (1958)
 38) 村山・柴田 : 土木学会論文集, (40) (1956)
 39) 森 : Ibid, (57) 7~11 (1958)
 40) 赤井 : Ibid, (58) 76~81 (1958)
 41) M. Reiner : Deformation and flow (柳沢の訳あり) 40~41 (1949)
 34) R. Houwink : Elasticity, plasticity & structure of matter, (1953)
 43) 奥田 : 化学技術者のレオロジー, 151~173 (1959)
 44) 梅屋 : Ibid, 174~193
 45) 森他 : 化学工業, 20 (9) 488~494 (1956)
 46) E. K. Fisher : Colloidal Dispersion, 182~191 (1950)
 47) 安富 : 未発表 (1960)

粒径分析法に関する考察

山中金次郎

(農業技術研究所化学部)

1. 序論

土壌中に含まれている異つた大きさの粒子の割合を測定する操作, 方法はすべて粒径分析 (Mechanical Analysis) として総括される。この用語は分析結果が粒径として表示されることも含めて慣習的に用いられて来た「機械分析」に対してずつと適正と考える。

粒径分析の中には粒子の大きさに従つて fraction 別に分析してゆく方法とこの方法の前提条件となつている粒子の完全分散法とが含まれるが, 本質上前者を粒径分析法として代表させる。

粒径分析法の歴史的な発展過程は非常に長年月に亘り, 之等の詳細を述べる事は現在ではあまり意義がないが, この分析自体が土壌学の研究分野の中でどの様な位置を占めるかを確め, 且その結果を有効化するためには粒径分析法の進歩の基礎となる原理の発展と転換との過程を理解しておくことが望ましいと考ふる。

之等について著者はすでに幾つかの解説¹⁾²⁾³⁾を試みて来ているが更に総括的に遡観してみたいと思う。

2. 粒径分析法の進歩

Keen⁴⁾の直裁的な表現に従えば, 粒径分析法程万華鏡的な目まぐるしい転換を示したものは土壌学の分野で

は稀有である。非常に長期間在来的方法が用いられており, それ等の内容は農業, 土木, 窯業等に実際に従事した人々の判定的表現 (砂, 粘土等) 及び土壌調査にとつての重要な項目である土性表示について幾らかの数値的表示を附加するにすぎない程度であるのに対して Oden⁵⁾(1915)の研究はこの程度の在来分析法を一飛びにその外見に於て, 又その方法に於て土壌の研究に対する強力な武器の權威にまで高めてしまつたのである。この間, 有名な Shōne (1867) を起点としても尙50年を経過しているのである。

これに続いて多くの研究者が次々と新しい優れた方法を発展させ土壌学に於ける一つの黄金時代を作つたと云い得よう。これ等の方法によれば僅かの fraction に分けるに止つていた在来法に新しい完全に連続した粒径分布曲線が土壌の粒径組成として得られる事になり, 更にこれらに対する幾つかの自記装置までが考案されたのである。

残念な事には華々しく出現した粒径分布曲線法の研究はあまり長くない期間に凋落を示し, 現在では特殊の研究に用いられるに止つている。この原因は之等の方法が何れも重大な実験誤差を内包し, 従つてその研究の武器としての価値を減殺した事に存する。

精緻な粒径分布曲線は比較的小さい誤差に対してすら