

泥質堆積物の粒度分析における超音波篩分法と比重計法の比較

公文 富士夫*

Comparison between ultrasonic sieving and hydrometer methods of grain-size analysis for muddy sediments

Fujio KUMON*

The ultrasonic sieving method is a new and useful tool for grain-size analysis of fine-grained muddy sediments. The new method was compared with the traditional hydrometer method. The ultrasonic sieving method shows a little wide variation. Ultrasonic vibration is often used to disperse the sample before the hydrometer analysis. It decreasea the grain-size of muddy sediments, but the sediments attains a "terminal distribution" in grain size after about 30 minutes of vibration. The weigted mean of the analysis by ultrasonic sieving method is smaller than the analysis of unvibrated sample by the hydrometer method, and is concordant with the analysis of sample in terminal distribution by the hydrometer method.

Key words: metaric fine-mesh filter, grain-size analysis, hydrometer, muddy sediment, ultrasonic sieving.

はじめに

超音波篩分による泥質堆積物の粒度分析法は, SHIKI *et al.* (1982), 山崎・志岐 (1984), SHIKI and YAMAZAKI (1985) によって現世海洋の堆積物の研究に導入され, タービダイトの解析に大きな成果をあげている。この方法は, かれらの指摘のように, 従来フルイによる分析が困難であった $62\mu\text{m}$ 以下の粒度の分析を可能にし, 沈降法の限界に近い $2\mu\text{m}$ の大きさまでフルイで分析できると言う点で画期的と言ってよい。そして, 分析に使う試料が少なくてもすむことが, 葉理の単位での分析を可能にすると言う点でも重要である。

この超音波篩分法は, フルイの目開きを通過するか否かで, 大きさを区分するものであり, これまで泥質堆積物の粒度分析に標準的に用いられてきた沈降法とは原理的に異なるものである。そのため, この方法が従来の沈降法による分析とどの程度一致するのか, または, しないのか, 検討しておく必要がある。筆者は,

共同研究者とともに野尻湖や青木湖の湖底堆積物について比重計法で (公文・井内, 1988; 川尻・公文, 1988), 超音波篩分法を用いて, 琵琶湖の混濁流堆積物の研究を行ってきた (公文・琵琶湖乱堆積研究グループ, 1990)。また, 超音波篩分ではかなり長い時間にあたって超音波振盪を行うので, 粒子の破壊という点も気になる点である。そこで, 同じ試料を用いて, 沈降法の1つである比重計法と超音波篩分法とを比較検討してみた。

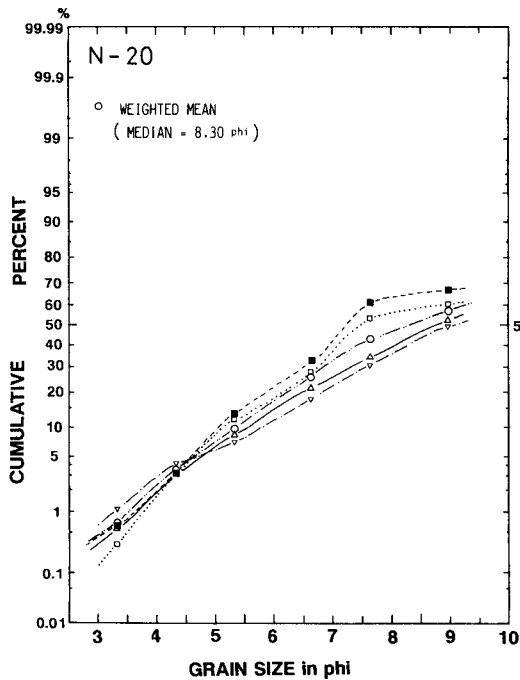
試料の調製

試料は長野県, 野尻湖の現湖底から採取したもので, 粘土質シルト (S-4) とシルト質粘土 (N-20) とである。試料に過酸化水素水を加えて有機物を分解し, 水分を蒸発させて泥のペーストを作った。それを充分にかきまぜて, 超音波篩分用と比重計用とに分けた。それぞれの分析法ごとに3~4つの分析用試料を分取した。

超音波篩分法

分析装置は, 神明台工業(株)製の超音波ふるい分け装

*信州大学理学部地質学教室, Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto 390, Japan.



第1図. 超音波篩分法による N-20 試料の粒度分析結果. 4 つに試料を分取して分析. 白丸が 4 試料の加重平均を示す.

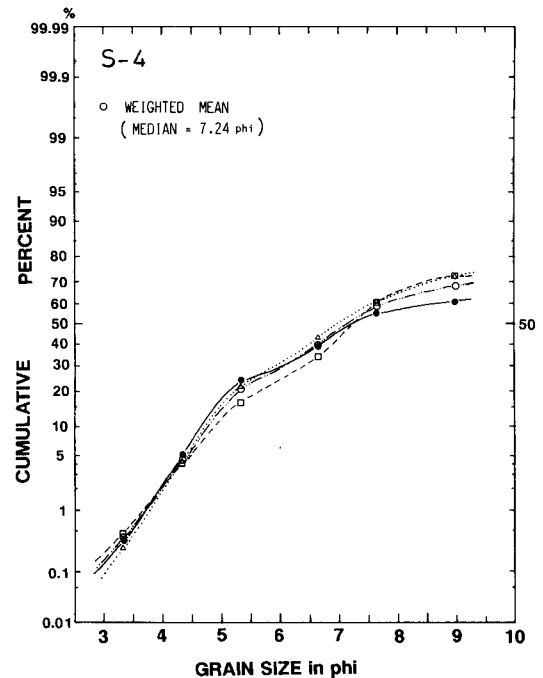
Fig. 1 Grain-size analysis of N-20 sample by the ultrasonic sieving method. Four samples were analysed, and the weighted mean of the four is shown as open circle.

置(出力100W, 発振周波数 19KHz)を用いた. フルイは, 16mm径のメタリック・ファインメッシュ・フィルター(東洋濾紙(株)製)で, 100, 50, 25, 10, 5, 2 μm の目開きのものを使った.

分析手順は, 基本的には山崎・志岐(1984)に従った. 試料は, 湿った状態のままエチルアルコール中に超音波洗浄機で攪拌して, 分析に供した. 2 μm 以下の試料の重量は, 2 μm の濾過液を蒸発乾固させて求めた. 最初に乾燥させなかった理由は, 乾固させることによって粒子が再結合する危険性があるからである*. それゆえ, 最初の供給重量が求められておらず, sieving loss の評価ができないという問題が残る. 測定した試料の総重量は, 約 0.08g~0.15g であるが, 0.1g を越える試料では, 5 μm および 2 μm のフルイの通過に時間がかかった.

第1図及び第2図に分析結果を示す. N-20 の 4 試

*これまでの経験では乾燥させた試料をそのまま超音波篩分に使くと, より粗粒な分析結果がでている.

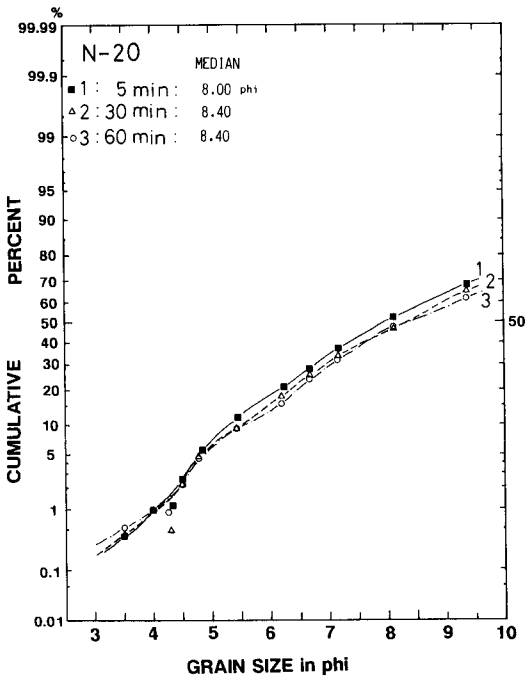


第2図. 超音波篩分法による S-4 試料の粒度分析結果. 試料を 3 つに分取して分析. 白丸が 3 試料の加重平均を示す.

Fig. 2 Grain-size analysis of S-4 sample by the ultrasonic sieving method. Three samples were analysed, and the weighted mean of the three is shown as open circle.

料は, 7.3および7.5 ϕ の中央値をもつ粗粒なタイプと 8.8および9.0 ϕ の中央値をもつ細粒なタイプにわかれ, その間に大きな差がある. S-4の3試料は, 7.1~7.3 ϕ の中央値をもち, 多少ばらついているものの比較的よい一致を示すといえる. 分析手続き上特に問題のあった試料はないので, 重量の重みをつけた加重平均をとって, それぞれの試料を代表させた.

同じ試料なのに個々の分析結果がかなりばらついている原因の一つは, 分析試料の少なさに起因する統計的な誤差である可能性がある. N-20の試料にみられるような, 100 μm や50 μm あたりの粗粒な部分での不一致は, 分析過程上で生じた誤差とは考えにくい. 0.1g前後という量は, 湖底のある部分の堆積物を代表する量としては少なすぎると言うことであろう. また, それは分析に供した試料が分取の際に充分には均質に混ざり合っていなかったということでもあろう. 一方, 分析の手續きの困難さも原因の一部である. 細心の注意を払っても, 試料の一部が器具に付着したまま乾燥することがある. また, 濾過の末期に超音波発振体と



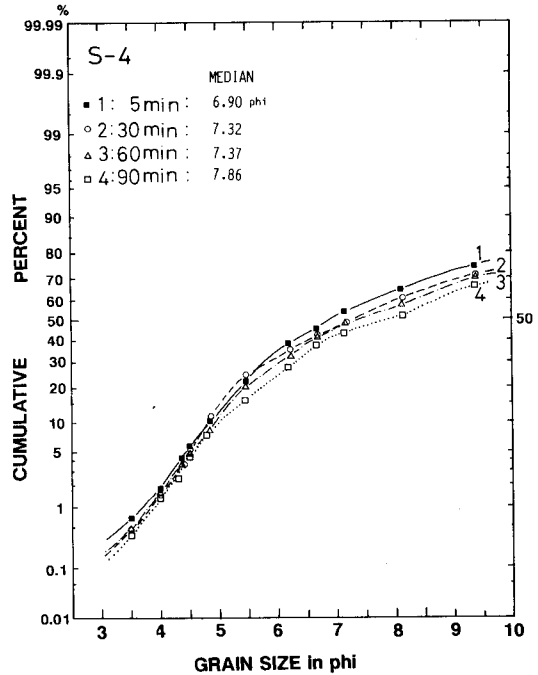
第3図. 超音波による振盪時間を違えた試料(N-20)についての比重計による粒度分析結果.
Fig. 3 Grain-size analysis of N-20 sample by the hydrometer method. The analysed samples were shaken for 5, 30 and 60 minutes by ultrasonic vibrator.

溶液との間で飛沫があがり、液が飛び散ることがある。合計で0.1gそこそこの重量なので、このようなわずかの損失でも大きな誤差となる可能性がある。

比重計法

比重計による分析法は、JIS規格(土質工学会, 1979)に準拠したものであるが、恒温水槽の代わりに外側にアルミ張りをした大型プラスチック箱を用いた。その水槽での温度変化は実験中の24時間で1.5度以内であった。分散剤にはヘキサメタリン酸ナトリウムの0.1モル溶液を用いた。

比重計法での分析に先立ち、しばしば超音波洗浄器で試料を分散させることが行われている。その超音波による振盪の影響の度合を知り、かつ超音波篩分の場合の振盪の影響と比較するために、同一試料をいくつかに分割し、超音波で振盪させる時間を変えて、その他は同じ条件でそれぞれを分析した。超音波による振盪時間は、N-20の試料で5, 30, 60分間、S-4の試料で5, 30, 60, 90分間と変えた。振盪は、300~400ccの容量の泥水の状態にしてポリ・ビーカーにいれたま

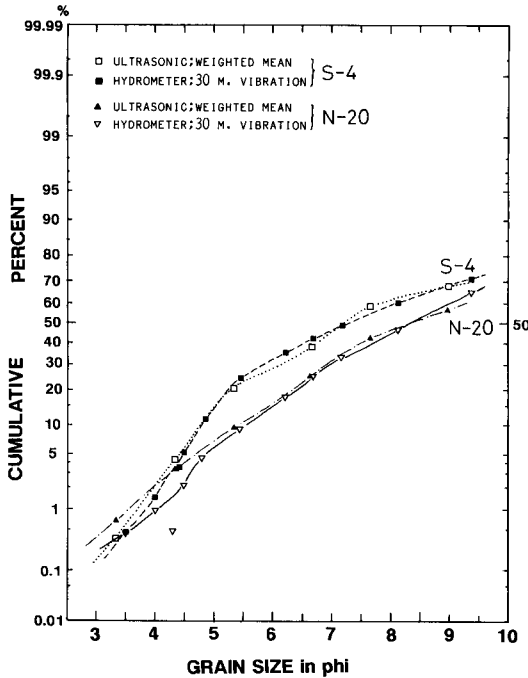


第4図. 超音波による振盪時間を違えた試料(S-4)についての比重計による粒度分析結果.
Fig. 4 Grain-size analysis of S-4 sample by the hydrometer method. The analysed samples were shaken for 5, 30, 60 and 90 minutes by ultrasonic vibrator.

まで行った。試料は乾燥重量で40~55gの量であった。分散剤は試料をシリンダーに移してから60cc加えた。振盪に用いた超音波洗浄器は、ブランソン S7012-25-12(B)型(水槽: 25×30×25cm, 周波数: 25KHz, 出力: 420W)である。

なお、4.5φよりも粗粒な部分についてはフルイを用いても分析し、4.5φの値が一致するように重量を変化させて(重量補正)、比重計の結果と合わせた。その重量補正值は、含水率から推定した供給重量に対して、-4~-9%の補正であった。N-20試料の中央値は、5分間振盪が8.0φ、30分間が8.4φ、60分間が8.4φである(第3図)。S-4試料では、5分間振盪が6.9φ、30分間が7.3φ、60分間が7.4φ、90分間が7.8φの中央値を示している(第4図)。分析の結果は、長時間超音波振盪をかけたものほど細粒となる傾向を明瞭に示している。5分間振盪のものと比較して、30分間および60分間振盪したものは0.4φほど細粒となっている。S-4の90分間振盪した試料は、5分間振盪したものよりも1φ近くも細粒である。

この事実は、超音波による振盪が泥質堆積物を分散

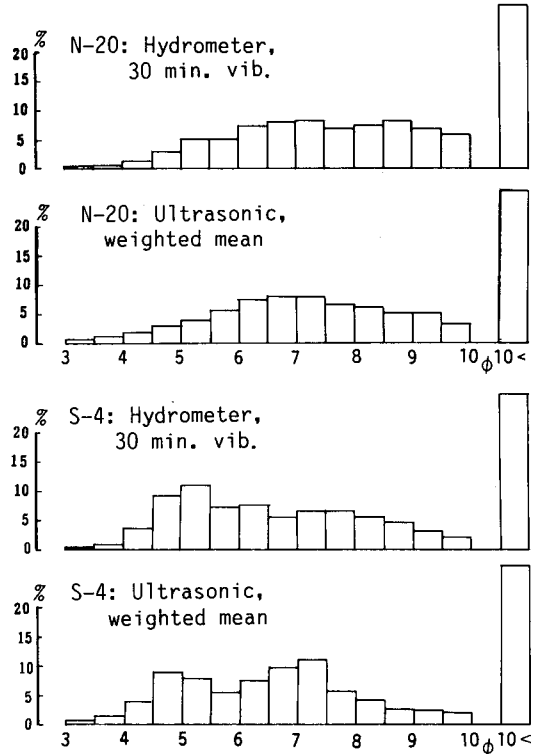


第5図. 超音波篩分法と比重計法の比較. 黒三角がN-20の, 白四角がS-4の超音波篩分法による粒度分析の加重平均. 白逆三角がN-20の, 黒四角がS-4の30分間振蕩した試料の比重計法による分析結果.

Fig. 5 Comparison between the ultrasonic sieving and hydrometer methods, shown as cumulative frequency curves.

させて, 細粒化させていることを示している. それゆえ, 粒度分析に当たっては, 超音波による振蕩はしないか, するならば一定の基準を決めて使う必要があることを示している.

NELSEN (1983) は, 泥質堆積物の粒度分析においては試料の分散処理が重要であることを指摘し, 各種の分散方法を比較検討している. その結論の1つとして, 超音波による分散では30分間の振蕩で「終端粒度分布 (terminal distribution)」に達し, それ以上時間をかけても変化しないことを述べている. 振蕩時間が30分間と60分間の試料の粒度分布が, ほとんど変わらないことは, その終端粒度分布に達していることを意味しているのであろう. しかし, S-4において90分間の試料がかなり細かくなっていることは, あまり長時間振蕩を続けると, より壊れにくいものまで破壊されてしまう事態が起きることを示唆しており, 終端粒度分布も一種の「準安定状態」の可能性がある. 30分間は1つの目安であるが, 試料の性質と超音波振蕩機の出力に



第6図. ヒストグラムによる超音波篩分法と比重計法の比較. 超音波篩分法のデータは荷重平均で, 比重計法は30分間振蕩のデータで代表させた.

Fig. 6 Comparison between the ultrasonic sieving and hydrometer methods, shown as histogram.

応じて, 適切な振蕩時間を設定してやる必要がある.

超音波篩分法と比重計法との比較

超音波篩分法の荷重平均は, 5分間振蕩の試料についての比重計法による分析結果よりも細粒で, 中央値で0.5φほどの差がある. しかし, 30分間または60分間振蕩の試料とはかなりよく一致する.

第5図および第6図に, 30分間振蕩の試料についての比重計法の結果と超音波篩分法の加重平均との比較を例示する. S-4の試料で超音波篩分法の7φ前後に小さな峰が現れている点が相違であるが(第6図), 大変よく似た結果である.

これは, 超音波篩分法の結果が, 前述の「終端粒度分布」まで分散させた試料についての比重計法の結果とほぼ一致することを示している. N-20の試料では, 3.5~4.5φの間で少しギャップがあるが, 超音波篩分の試料の少なさに起因するものであろう. S-4の試料について90分間振蕩した試料は, 超音波篩分法の結果

よりも0.5 ϕ ほど細粒であった。

今回の検討では、超音波篩分法は、超音波振盪をかけた試料（実際は5分間かけているが）についての比重計法による分析結果よりはかなり小さい結果を、また、30分間または60分間振盪の試料とはほぼ同じ結果を示すことが判明した。SHIKI and YAMAZAKI (1985)は、超音波篩分法の説明の中で、超音波篩分法が、極く細粒の部分を除いてピペット法とほぼ同じ結果を出すと述べている。ピペット法と比重計法とは、同じ原理に基づく互換性のある方法である。SHIKI and YAMAZAKI (1985)が検討したピペット法の試料が終端粒度分布まで分散したものであれば、今回の検討結果とも矛盾しない。

しかしながら、比重計法の結果は、4.5 ϕ より粗い部分を分析した篩分法の分析結果と一致させるために、重量補正を行っている点に問題が残る。厳密に言えば、その時点で、比重計法の結果を原理の異なる篩分法に近づける過程が介在していることになる。KOMAR and CUI (1984)は、砂の粒度の堆積物について、篩分法と沈降法の詳細の比較検討を行い、篩分法の結果を沈降法と比較する変換式を提唱している。そのような変換式を用いて、比重計法における篩分法との整合性を改善した上で、超音波篩分法と比較することは、今後の課題である。

文 献

- 土質工学会, 1979: 土質試験法, 日本土質工学会, 757 p.
- 川尻 潔・公文富士夫, 1988: 長野県西北部, 青木湖の湖底堆積物. 碎屑性堆積物の研究, 5, 85-94.
- KOMAR, P.D. and CUI, B., 1984: The analysis of grain-size measurements by sieving and settling-tube techniques. *J. Sed. Petrol.*, 54, 603-614.
- 公文富士夫・琵琶湖乱堆積研究グループ, 1990: 琵琶湖における乱堆積現象と古環境変遷. 堆積学研究会報, 32, 29-30.
- 公文富士夫・井内美郎, 1988: 中部地方, 野尻湖の湖底堆積物. 碎屑性堆積物の研究, 5, 73-83.
- NELSEN, T.A., 1983: Time- and method-dependent size distributions of fine-grained sediments. *Sedimentology*, 30, 249-259.
- SHIKI, T. and YAMAZAKI, T., 1985: A lamina-by-lamina analysis of grain-size distribution in fine-grained turbidites. *Sed. Geol.*, 41, 201-220.
- SHIKI, T., YAMAZAKI, T. and HISATOMI, K., 1982: Features of grain-size distribution and mineral composition of turbiditic sediments from the Middle America Trench off Guatemala. *Init. Rept. DSDP*, 67, 537-548.
- 山崎貞治・志岐常正, 1984: 超音波篩分装置による粒度分析法と沖繩舟状海盆地細粒タービダイトの粒度組成. 碎屑性堆積物の研究, 3, 29-39.

用語解説 外浜 (Shoreface)

外浜は波浪の卓越する沿岸域に見られる地形で、低潮位から水深約15mまでの勾配1-3/100で海側へ緩く傾斜した地帯や地形をいう。これは陸棚の平坦面と比較して急勾配である。

沿岸域の名称は、1900年代の中頃までは前浜 (fore-shore) の海側はすべて沖浜 (offshore) と呼ばれていた。PRICE (1954) によってメキシコ湾沿岸に海側へ緩く傾斜し、陸棚の平坦面とは明瞭に区別される下に凸の面が広く発達することが認められた。この面は Johnson (1919) のいう波浪によって形成された平衡断面の陸側の急斜部 (shoreface) に相当し、沿岸・陸棚域での重要な地形、地帯である。

第1図に仙台湾と石狩湾の外浜地形を示す。仙台湾では水深約17m、石狩湾では約15mまでの等深線の密な部分が外浜である。石狩湾北部のようにこの地形は堆積域だけではなく侵食域でも認められ、海食台 (abration platform) の陸側の勾配の急な部分に当る。

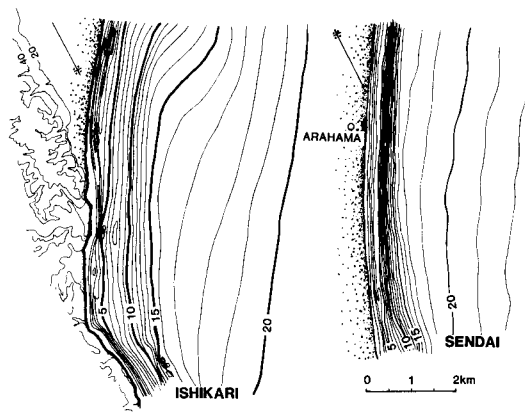
外浜地形の明瞭な地域では、浜堤列群からなる平野 (strand plain) が発達することが多い。仙台平野、九十九里平野はその好例である。

外浜地形の下部、陸棚との境界は、波浪の強弱で異なる。仙台湾では仙台平野沖で15~17m、石巻湾では8~10mである。この基部の水深が、静穏時の波浪作用限界水深にほぼ対応する。日本周辺の外浜地形に関しては茂木 (1971)、田中ほか (1980) などの研究がある。

外浜は、石狩湾沿岸域のように (第1図)、水深5~6m以浅に沿岸州とトラフが認められることが多い。沿岸州やトラフが認められたり仙台湾のように棚状になっている地帯が上部外浜である。外浜は上部外浜とその沖合の下部外浜に分けられる。

堆積域での外浜堆積物は、上部外浜相と下部外浜相からなる。上部外浜相は、沿岸州や沿岸州上のメガリップルの移動や離岸流などによって形成された堆積物からなり、10~50cmセットのトラフ状・板状斜交層理の発達した礫質砂層からなる。下部外浜相は、癒着したハンモック状斜交層理の発達した砂層からなる (斎藤, 1989)。

Shoreface の訳語については、渚面 (花井, 1937*), 外浜 (山内, 1968*; 堀川, 1973; 斎藤, 1987), 沖合海底堆積面 (金崎, 1976), 沖浜 (増田・岡崎, 1983) がある。地形学や海岸工学、また最近では地質学でも外浜が用いられることが多いので、こ



第1図 石狩湾と仙台湾沿岸域の外浜地形。水深15~17m以浅の等深線の密な部分が外浜。石狩湾は水路部発行の5万分の海底地形図「小樽」、仙台湾は国土地理院発行の2.5万分の1沿岸海域地形図「仙台」より作成。

では外浜を採用した。しかし、shoreface は本来面をなす地形に対しての用語である。外浜ではこの意味合いが不鮮明なので、地形を強調するときは、外浜面、外浜地形と区別することを勧めたい。なお中国語では、shoreface は臨浜、浜面と訳されている (英漢地質詞典編輯組, 1983)。

文 献

- 英漢地質詞典編輯組編, 1983: 英漢地質詞典。地質出版社, 北京, 1142p.
- 堀川清司, 1973: 海岸工学。東京大学出版会, 東京, 317p.
- 金崎 肇訳, 1976: 海岸に於ける諸作用と海岸線の発達 (D. W. ジョンソン著)。古今書院, 東京, 548p.
- 増田富士雄・岡崎浩子, 1983: 筑波台地およびその周辺台地の第四系中にみられる方向を示す構造。筑波の環境研究, 7, 99-110.
- 茂木昭夫, 1971: 汀線と碎波帯。浅海地質学, 東海大出版, 東京, 109-252.
- PRICE, W.A., 1954: Dynamic environments: reconnaissance mapping, geologic and geomorphic, of continental shelf of Gulf of Mexico. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, 4, 75-107.
- 斎藤文紀, 1987: 海水準変動に支配された海成沖積層の形成モデル。月刊地球, 9, 533-541.
- 斎藤文紀, 1989: 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相。地学雑, 98, 350-365.
- 田中則夫・小山内英雄・夷塚葉子, 1980: 我が国主要海浜の特性について。港湾技研資料, 356, 67p.
- *花井 (1937), 山内 (1968) の文献は金崎 (1976) による。(斎藤文紀, 地質調査所海洋地質部)