

碎屑堆積層の層厚について

藤原 健一*

Résumé

On the Thickness of a Clastic Stratum

by

Ken-ichi Fujiwara

Concerning the sedimentological significance involved in a clastic stratum, the thickness (z) of a stratum should be expressed as a function of the velocity (w) of sedimentation, the time (t) required in sedimentation, and the average porosity (P) of the stratum. The writer tried to introduce the equation which expresses a thickness of a clastic stratum as follows :

$$Z = \int_{t_1}^{t_2} w dt / (1-P) \quad (1)$$

where

$$w = \frac{1}{\Delta S} \frac{dV}{dt}$$

V : Total volume of particles of sediments on unit area (ΔS) of a stratum.

As far as we could assume that the velocity of sedimentation would be constant in the time range of sedimentation of unit stratum, the equation (1) is expressed as follows :

$$Z = wt / (1-P)$$

This is the general formula of the equation which may express the thickness of a clastic stratum.

1. 緒言

近代層序学が堆積相 (Sedimentary facies) の概念を導入したこと、応用地質面における必要から地層の厚さの測定を行うに至ったこととの2者は、必然的に地質学が定性的記載の学問から一歩前進して、定量的自然科学に成長しようとする機運をもたらしたと見ることができる。

新生代堆積層を対象とする層序学研究の最近の傾向の1つは、堆積状態および堆積機構を論ずるにあたって、地層の厚さを利用して問題を定量的に取り上げるようになったことである。そして層厚のもつ堆積学的意義が次第に認識されてきていることは、堆積環境 (Sedimentary Environment) ・堆積過程 (Sedimentary Process) の研究と相まって堆積学 (Sedimentology) という新分野の発展をもたらしつつある。

このような認識をさらに明確にするために堆積過程の立場から、碎屑堆積層の生成を考察して、その層厚を決定する要素を分析し、その堆積学的意義について論じ、かつ地層の厚さおよび層厚の変化量を表現する方法を考

察してみた。

2. 碎屑堆積層の層厚を決定する3要素

いま堆積過程 (Sedimentary Process) が、地質時間の経過に従って風化 (Weathering) — 運搬 (Transportation) — 沈積 (Deposition) — 圧縮 (Compaction) および凝固 (Consolidation) — 変形 (Deformation) という系列で進行していつて、地層の生成 (Lithification) が行われると考えるならば、地層の厚さをきめるものは、

◎堆積物 (Sediments) の実容積^{註1)}..... V

◎沈積後に受けた圧縮変形の結果としての現在の孔隙率^{註1)}..... P

の2者である。しかるに堆積物の実容積は

◎堆積時間..... t

◎堆積速度..... w

の2者によつて表現することができるから、地層の厚さ

註1) 堆積物の孔隙率 (P) は通常

$$P = V_p / V_o$$

で表わされている。こゝに V_p は孔隙の容積で、 V_o は堆積物の実容積 (Bulk Volume) である。

この場合の $V_o - V_p = V$

を實容積と呼ぶ。

* 物理探査部

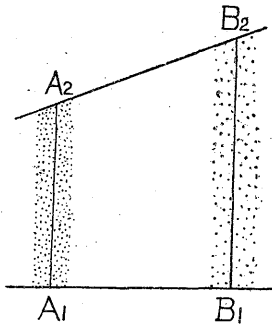
(z) は孔隙率(p), 堆積時間(t) および堆積速度(w) の函数として表わせるはずである。

$$z=f(p, t, w)$$

これら3要素を考えるにあたって, 最も簡単な場合として, 水平的(Horizontal)には層厚が変化し得る1つの単層(Stratum)をとり, その単層の p, t, w, のもつ堆積学的意味を次に考察してみる。

3. 孔隙率(Porosity)

第1図に示す単層 I (下限A₁B₁上限A₂B₂) が2点A₁~B₁~2 においてそれぞれ層厚(Z_a, Z_b)を異にし, またそ



第1図

れぞれの平均孔隙率 P_a, P_b を有するとすると

$$\left. \begin{aligned} P_a &= \frac{V_A - V_a}{V_A} \\ P_b &= \frac{V_B - V_b}{V_B} \end{aligned} \right\} (1)$$

である。ここに

- V_A: A₁~A₂ における単位面積上の堆積物の全容積
 - V_B: B₁~B₂ における単位面積上の堆積物の全容積
 - V_a: A₁~A₂ における単位面積上の堆積物の全実容積
 - V_b: B₁~B₂ における単位面積上の堆積物の全実容積
- とすれば

$$\left. \begin{aligned} V_A &= Z_a \cdot \Delta S \\ V_B &= Z_b \cdot \Delta S \end{aligned} \right\} (2)$$

(ここにΔSは単位面積, Z_a, Z_b はそれぞれ A, B における層厚) であるから

$$\left. \begin{aligned} V_a &= Z_a \cdot \Delta S (1 - P_a) \\ V_b &= Z_b \cdot \Delta S (1 - P_b) \end{aligned} \right\} (3)$$

となる。いま A, B 両点の堆積物の全実容積が同一(V_a = V_b) であれば (3) 式より

$$\left. \frac{Z_a}{Z_b} = \frac{1 - P_b}{1 - P_a} \right\} (4)$$

すなわち「2つの堆積物の実容積が同一量であれば, その地層の厚さの大小は孔隙率に逆比例する」。しかもこのことは, この地層の沈積当時の孔隙率のいかに拘

らずなりたつことを(4)式は示している。

また場所 A 点における沈積当時の厚さが B 点の層厚(Z_b)に等しく A 点における現在の厚さが層厚(Z_a)であると仮定すると, かつて著者註2) がのべたように, この地層が沈積後現在までの地質時間の間にうけた圧縮(Compaction)によつて, A 点における孔隙率は P_b から P_a に変化したと考えることができる。第2図は P_a, P_b の 0~100% の値に対する Z_a/Z_b の%を求める図表である。

4. 堆積時間(Times required in sedimentation) と堆積速度(Velocity of sedimentation)

第1図の A₁~A₂ (A₁~A₂) 点において地層 I の堆積物の容積は式(2)で与えられるように

$$V_A = Z_a \cdot \Delta S$$

である。しかるに式(3)から

$$V_a = V_A (1 - P_a)$$

である。ここに V_a は A₁A₂ 間の単位面積上の全実容積, P_a は A₁A₂ 間の平均孔隙率である。

よつて

$$Z_a (1 - P_a) = \frac{V_a}{\Delta S}$$

$$\text{いまもし } \frac{V_a}{\Delta S} = \int_{t_1}^{t_2} w dt \quad (5)$$

$$\text{とおけば } Z_a (1 - P_a) = \int_{t_1}^{t_2} w dt \quad (6)-1$$

いま A₁B₁ の距離(x)を充分小さくとれば(例えば1つの露頭で x が数 m 程度), A₁B₁, A₂B₂ はそれぞれ同時面を表わすと考えてさしつかえないから, A₁B₁ の表わす層序学的時刻(t₁)と, A₂B₂ の表わす層序学的時刻(t₂)によつて限定される層序学的時間を t_a とすると

$$t_a = t_2 - t_1 \quad (6)-2$$

式(6)を一般式で表わせば

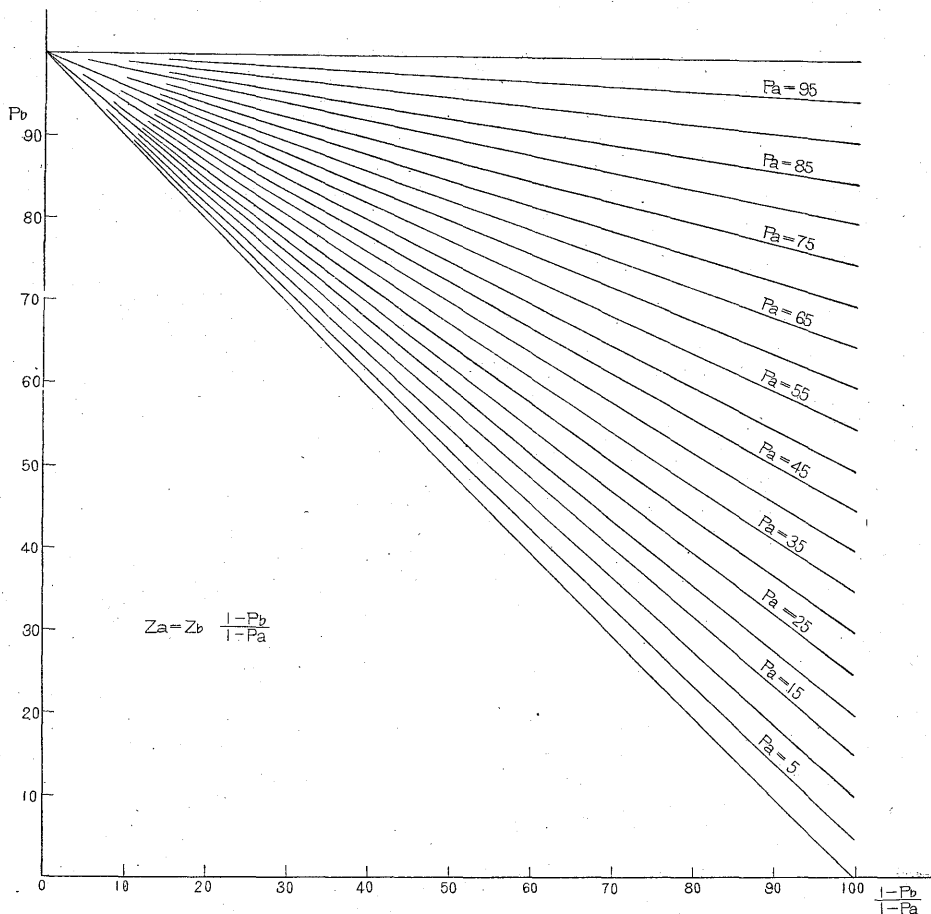
$$Z_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} w dt / (1 - P), \quad t = t_{i+1} - t_i \quad (7)$$

なる。式(7)は単層の厚さを表わす一般式であつて, 式(7)によつて定義される w を堆積速度(Velocity of sedimentation)と呼び, t を堆積時間(Times required in sedimentation of Stratum I)と呼ぶことにする。式(5)の一般式

$$V_i / \Delta S = \int_{t_i}^{t_{i+1}} w dt \quad (8)$$

の堆積速度 w は堆積時間(t)の函数と考えられる。すなわち ΔS は t に関して常数であるから

註2) 藤原健一: 新生代碎屑岩 (clastic rock) の比重と孔隙率について, 石油技術協会誌, 第18巻, 第3号



第2圖 孔隙率の減少による地層の厚さの減少を求める圖表

$$w = \frac{1}{\Delta S} \frac{dv_i}{dt} \quad (9)$$

となる。すなわち式(7)によつて定義された堆積速度 w は式(9)で示されたように「層序学的時間 Δt の間に単位面積の上に堆積した堆積物の実容積」に相当し、ジメンション(Dimension)は LT^{-1} である。式(7)は地層の厚さを表わす一般式であつて、堆積過程から見れば右辺の分子 $(\int_{t_1}^{t_2} w dt)$ は地層の組成堆積物が運搬沈積して settle するまでの運動によつて支配され、分母 $(1-P)$ は沈積後の地層の生成作用(Lithification)に當つて受けた圧縮(Compaction)および変形(Deformation)等の結果を意味する。

堆積速度 (Velocity of sedimentation) という語について……高橋純一註3) は「堆積時間」および「堆積速度」を用いているが、定性的意味に使つていても定義を與えてはでない。今井半次郎註4) は「沈積速度」という語を用い、それを決定する方法

の1つとして『ある地質時間に沈積した地層の厚さをその期間の長さで割つて見る』と述べている。すなわち地層の厚さを Z 、期間の長さを時間 t で表わせば、沈積速度は Z/t で表わせることになる。野滿隆治註5) は「堆積の早さ」という語を河川の堆積物に対して用い、ある時時に堆積する堆積物の厚さで表わした。湊註6) は「埋積速度」という語を、定義を與えずに定性的に使つている。

Grabau, A. W.註7) は“Time taken to settle”(=粒子の沈降速度)と堆積物の“Ft. per minute”(1分間に沈積する呎)、の両者を合せて“Rate of settlement of solid matter”と呼んでいる。

Twenhofel註8), Revelle註9), Shepard註10) 等は今井

註5) 野滿隆治: 河川學 1943

註6) 湊 正雄: 地層學 1952

註7) Grabau, A. W.: Principle of Stratigraphy, 1913

註8) Twenhofel, W. H.: Principle of Sedimentation, 1939

註9) Revelle, R. & Shepard, F. P.: Sediments off California Coast Recent Marine Sediments, A.A.P.G. 1939

註10) Shepard, F. P.: Submarine Geology, 1948

註3) 高橋純一: 石油鉱床新論 1922

註4) 今井半次郎: 地層學 1931

の Z/t に相当する「年間の沈積物の厚さ」を“Rate of deposition”と呼び、同じものを Schott^{註11)}、Kuenen^{註12)}、は Rate of sedimentation と呼んでいる。最近では Emery & Rittenberg^{註13)} 等が“Rate of deposition”を単位時間・単位面積上に沈積する物質の質量 (gr/cm²/year) で表わし、河井^{註14)} は Emery 等の論文の紹介で Rate of deposition を堆積速度を訳している。

上記は著者の手元にある教科書の文献について“堆積速度”という語、および同意語のものを挙げたのであるが、実用上重要と思われる Emery の Rate of deposition を m とし、これを構成する堆積粒子の平均の真比重を ρ_0 とすれば著者の堆積速度 w との関係は

$$m = \rho_0 w$$

である。

地質学では地層の沈積当時の堆積速度を、絶対時間をもつて測ることはできない。そこで地質学的にそれぞれ同時面を示すと解釈される2つの面によつて限定される(例えば凝灰岩層)層序学的時間を利用するより他に方法がない。実際に取扱う場合には、地層区分の最小単位である単層^{註15)}の示す堆積時間(すなわち地質学的に限定

できる最小の時間)の範囲内では、堆積速度は一定であると考えてよいと思われる^{註16)}。たゞこの前提に矛盾するような地質学的事実(解釈上の矛盾でない)が見出されたものについてのみ、堆積速度は一定でないと考え直す必要がある。

『堆積時間(Δt)の範囲では堆積速度は変化しない』と考えられる地層については式(7)は

$$Z = w t / (1 - P) \quad (10)$$

となる。

5. 結 語

地層の厚さが孔隙率・堆積時間・堆積速度の3者によつて表わせることを式をもつて示し、これらの要素のもつ地質学的意味を述べてみた。こゝでは最も簡単な場合を2.3の仮定のもとに論じたが、これを拡張発展させて実際の地質調査に応用することができる^{註17)}であろう。しかしわれわれが地質調査を行う際に100分の1縮尺の柱状図を作るのは、石炭地質・石油地質などの如く限られた目的の場合であり、しかも実際には10%^{註18)}以内の測定誤差を認めなければならない。であるから堆積時間や堆積速度を量的に取扱うためには、野外調査の際の地図の縮尺・走向傾斜の測定・測定点のplotの仕方、等による地層の厚さの測定誤差を考慮に入れた上で行わねばならない。そのような意味において野外調査および地質図学における誤差論も必要となるであろう。

(昭和28年12月稿)

註11) Schott, W.: Rate of Sedimentation of recent deep-sea Sediments, Recent Marine Sediments, A.A.P.G, 1933

註12) Kuenen, Ph. H.: Marine Geology, 1950

註13) Emery, K. O. & Rittenberg, S. C.: Early Diagenesis of California Basin Sediments in Relation to Origin of Oil, A.A.P.G, Vol. 36 No. 5, 1952

註14) 河井興三: カリフォルニア海底盆地の堆積物の積成作用, 石油技術協会誌 第17巻 第6号〔13〕参照

註15) 碎屑堆積層の地層区分は原則的には組成物質の粒度による

註16) いままではこのような仮定をことわらずに黙認して議論を行っている。

註17) 實例についての取扱方は別に述べる。

註18) 炭礫の炭化率測定には1%程度の正確なものもある。