リズム知覚の基礎としての時間知覚に関する精神物理学的研究

中島，祥好

https://doi.org/10.11501/3159287

出版情報：九州芸術工科大学，1999，博士（芸術工学），論文博士
バージョン：
権利関係：

第５章　時間長の弁別判断

５．１　序論

前章までの実験において、線分尺度、数、楽譜の３つの手段で、被験者あるいは実験者が時間長の比率を表すような手法により、＜つけくわえ仮説＞の適用範囲が広範であることを確認した。実験手法に関しても、比率評定、演奏による比率産出、被験者調整による比率産出という３つの手法によって得られた結果のあいだに、整合性が確立され、恒常法、上下法を用いた Sternberg ら の実験結果も、基本的に仮説を補強するかたちとなった。ここで、時間知覚の精神物理学的な理論を構築するためには、比率判断および弁別判断のデータを、明確に関連づけることが望ましい。ところが、＜つけくわえ仮説＞の適用可能性に関連して、弁別実験のデータが検討されたことはないので、本章で検討を加える。さいわい、空虚時間の弁別判断に関しては、過去にいくつかの実験がなされており、明確に記述されたデータが残っている。そこで、Abel (1972)、Getty (1975) および Kristofferson (1980) のデータについて、再分析を行うことにした。

ここまでに報告した実験、分析を（中島 (1979) の実験をも含めて）考慮するならば、以下の要件が満たされるときに、＜つけくわえ仮説＞がある程度安定して成り立つようである（ただし、これらの要件は、仮説を一旦まとめる段階で仮に定めるものであり、将来変化する可能性がある。）：

要件１：判断の対象となる空虚時間が、中庸の強さを持ったごく短い（典型的には、数ミリ秒の）音によって区切られている。

要件２：空虚時間が、主として 40～600 ms の範囲内にある。

要件３：２つあるいは３つの時間長に関する相対判断が求められる。

今後、＜つけくわえ仮説＞を適用する際の要件として、この３つの項目に触れることがある。ここで再分析される３つの実験は、要件１および要件２を満たしている。また、そのうちの２つは、要件３を満たしている。

５．２　再分析の対象となる実験の概要

Abel の実験

Abel は、２つの短音に挟まれた空隙の時間長に関する、上弁別閾を求めた。２件法の恒常法により、正答率 75 % の点が求められ、弁別閾が算出された。区切音は、0～20 kHz の白色雑音を短く切り出したものである。区切音の時間長および音圧レベルを変化させて、以下の３つの区切音条件を設けた：

A1 : 10 ms 、85 dB SPL、
A2 : 300 ms 、70 dB SPL、
A3 : 10 ms 、70 dB SPL。

被験者は、2つの区切音に挟まれた空隙の時間長を判断するように教示された。したがって、判断された時間長は、教示のうえでは、第1区切音の終わりから第2区切音の始まりまでである。しかし、この実験場面において、第1区切音の始まりと終わりとの、いずれが時間知覚の本当の手がかりになるのかを知ることは難しい。実験7の目的（4．2．1）に述べたように、区切音の終わりよりも始まりが、時間知覚、リズム知覚においては重要だからである。さらに、Efron (1970) の実験結果によれば、第1区切音が 10 ms であるとき、空隙が約 150 ms より短ければ、その終わり（オフ）を知覚することは不可能である。（Efron の実験2における第1区切音は、Abel によって用いられた区切音に似ているので、このような考察が可能になる。）もしも、第1区切音の始まり（オン）が時間知覚の本当の手がかりであるならば、ウェーバー比（相対弁別閾）を計算するために用いる標準時間の値は、Abel の用いた値よりも、区切音の時間長の分だけ長くする必要がある。もっとも、このくい違いは、条件 A1 および A3 においては、本研究の目的に関する限り無視することができる。そこで、第1区切音の終わりから第2区切音の始まりまでの物理的な長さを、Abel のデータに関する計算に用いることにする。条件 A2 においては、300 ms という区切音の時間長が、本研究で主に取り扱う時間長に匹敵する値であり、これを無視するわけにはゆかない。また、このことは<つけくわえ仮説>を適用する際の要件1に反する。しかし、この条件におけるデータを、他の条件におけるデータと比較すること自体は有益であると考え、あえて同様の方法によって分析した。

Getty の実験

Getty は、2件法の恒常法によって、空虚時間の弁別閾を求めた。このデータを Abel のデータと比較するために、（Getty が求めたような、精神測定関数の標準偏差を採用せず）75% の正答率が得られる点に基づいて、弁別閾を計算しなおした。この際、Z 値に最小自乗法を適用した。正答率が 100% となる点が現れた場合には、その点から先の（弁別が容易な）条件における測定値を計算から除いた。［Getty のデータ処理法においては、正答率が 100% である点のみが計算から省かれ、この点から先に正答率が 100% 未満となる点がある場合に、そちらのほうは計算に含まれるので、全体として正答率が不当に低く推定され、計算された弁別閾が大きくなりすぎる可能性がある。今回の計算では、この点を改めた。］区切音は、快適聴取レベルにおける 0.1 ms の方形波1周期分であった。2名の被験者から得られたデータが別々に扱われたので、被験者によって以下の2つの条件が区別される:

G1 : Getty 自身、
G2 : 熟練した学生。

Kristofferson の実験

Kristofferson は、時間長の弁別の散らばりが、彼の提唱する<時間量子理論>に示されるように、三角分布をなすと仮定し、一種の信号検出理論に基づく実験を行った。そこで得られた<時間量子>の物理的な大きさは、弁別閾の相対的な見積もりを与えるものである。ただし、その絶対的な大きさについて論ずる

ことは、我々の目的に関する限り無意味である。区切音は、10 ms 、68 dB SPL 、2000 Hz の純音であった。Kristofferson 自身が被験者を務めた。20 の実験セッションから、以下の2群のセッションが選ばれ、結果が別々に分析されている：

K1 ： セッション 1～5、
K2 ： セッション 18～20。

この実験においてなされた判断は厳密な意味での相対判断ではないので、＜つけくわえ仮説＞を適用する際の要件3が満たされていない。しかし、類似の刺激パターンを用いた測定の結果を、Abel や Getty の実験結果と比較することが重要であると考え、今回の考察に含めた。

実験結果の概略

上に挙げた合わせて7つの実験条件のうち、A1、A3、G1 および G2 が、＜つけくわえ仮説＞を適用する際の要件1～3を満たしている。参考のためにその他の条件をも含めて、空虚時間のウェーバー比を図25に示す。ただし、本研究の目的に即して、40～600 ms の範囲を中心としてデータを整理した。上述の3つの実験は、手続きにおいてかなり異なっているが、その実験結果は、明確に共通の傾向を示している。Abel および Getty が指摘したように、ウェーバー比は、ある程度長い時間長に関しては一定に近く、標準時間が短くなるにつれて増加する。

5．3　ウェーバーの法則の修正

ウェーバーの法則からの実験データの逸脱は、Fechner の研究以来様々な次元において示されており（例えば、Ekman, 1959； Getty, 1975； Baird & Noma, 1978）、一つの修正法則が経験的に通用している。標準刺激値 I と、弁別閾 ΔI とが以下の関係を持つとするのが、本来のウェーバーの法則である：

$$\Delta I / I = \text{const.} \qquad (43)$$

一方、修正されたウェーバーの法則は、以下のように記される：

$$\Delta I / (I+a) = \text{const.}, \quad a>0 \qquad (44)$$

空虚時間に関して、式（44）の関係は次のように記すことができる：

$$W_\alpha = \Delta t / (t+\alpha) = \text{const.} \qquad (45)$$

ここで、t は標準時間の物理的な時間長であり、Δt は弁別閾である。$\alpha = 0$ のとき、この式は本来のウェーバーの法則を表す。修正法則において、α は正の定数であり、その最適値、すなわち「W_α の変化を最小にする α の値」は、実験データから決定される。
一見すると、分析の対象となる全ての標準時間についての W_α の標準偏差（SD）が W_α の変化が小さいことを示す良い指標になると思われるかもしれない。

なぜなら、Wα の値が一定に近づくほど、その標準偏差が小さくなると考えられるからである。しかし、実際に α の最適値を決定する際には問題が生ずる。Wα の標準偏差は、単に α に非常に大きい値を与えるだけで、いくらでも小さくすることができるからである。ところが、log Wα（常用対数）の標準偏差を、Wα の変化が小さいことを示す指標として用いるならば、このような問題から免れ、この値が小さいほど修正されたウェーバーの法則の当てはまりが良い、と考えることができる。すなわち、この指標が最小であるとき、α の値が最適であるとみなすことができる。α = 0 ms として得られる log Wα の標準偏差が充分に小さく、かつ、最適の α に対して得られる標準偏差の値に近いものであれば、本来の（修正のない）ウェーバーの法則が支持されることになる。

以上の考えかたに従い、α の最適値を、40〜600 ms の標準時間に関して計算した。表１４に示すように、最適値が、４つの重要な条件（A1、A3、G1、G2）において似通った値になることが、注目される。最適値はおよそ 80 ms と見なされうるので、この値を、式（45）に従ってウェーバーの法則を修正するために選んだ。本来のウェーバーの法則の当てはまりを示す指標である log W0 の標準偏差と、修正されたウェーバーの法則の当てはまりを示す指標である log W80 の標準偏差とを表１４に示す。ウェーバーの法則の当てはまりが、80 ms の定数を標準時間に加えるような修正によって著しく改善されることは、明らかである。（α の最適値を導くことの詳細については、付記に記す。）

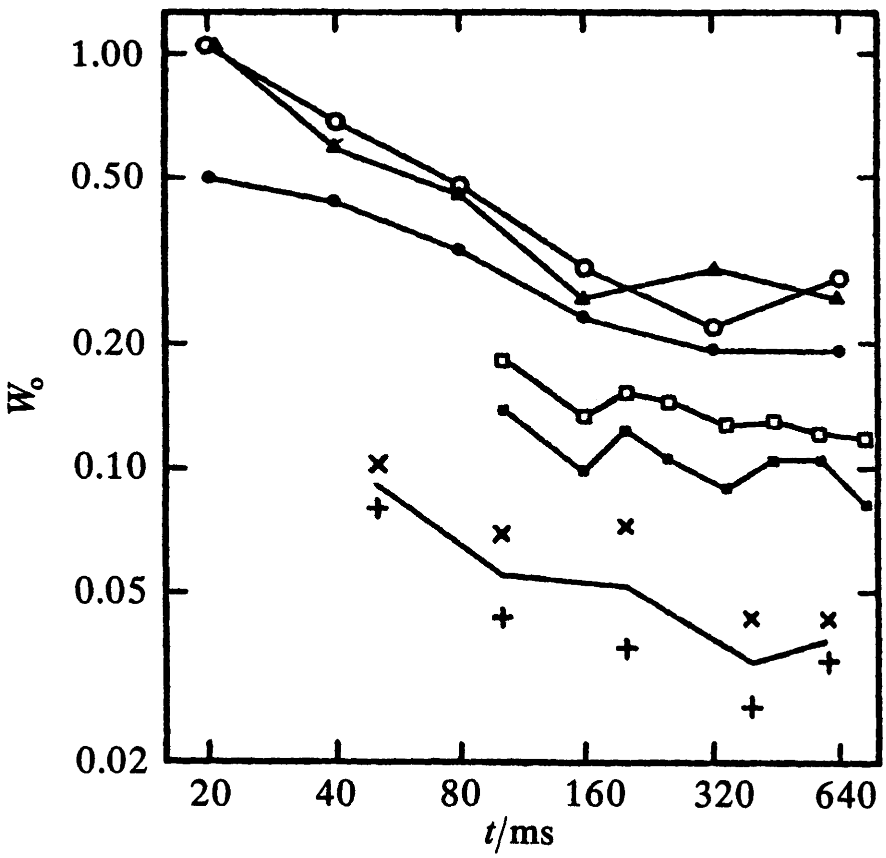

図２５　空虚時間の長さ t に対するウェーバー比、W0。●→ A1、○→ A2、▲→ A3、＋→ G1、×→ G2、□→ K1、■→ K2。G1、G2 のデータを算術平均値にまとめ、グラフの一番下の線によって示す。ウェーバーの法則が成り立つ場合、グラフは一定の値（水平）に近くなるはずである。

すなわち、近似的に次の関係が成り立っている：

$$\Delta t \propto t+\alpha \quad , \quad \alpha \fallingdotseq 80 \text{〔ms〕} \qquad (46)$$

この関係と、式（1）あるいは式（27）とを組み合わせると、次のような関係の成り立つことが導かれる：

$$\Delta t \propto \tau(t) \qquad (47)$$

さらに、式（1）から、$\Delta t \propto \tau(t+\Delta t)-\tau(t)$ との関係が導かれるから、

$$\tau(t+\Delta t) - \tau(t) \propto \tau(t) \qquad (48)$$

となる。この式の左辺は、物理的な次元における弁別閾 Δt に対応する主観量の変化幅である。この値を $\Delta\tau(t)$ と表せば、式（48）を次のように書き直すことができる：

$$\Delta\tau(t)/\tau(t) = \text{const.} \qquad (49)$$

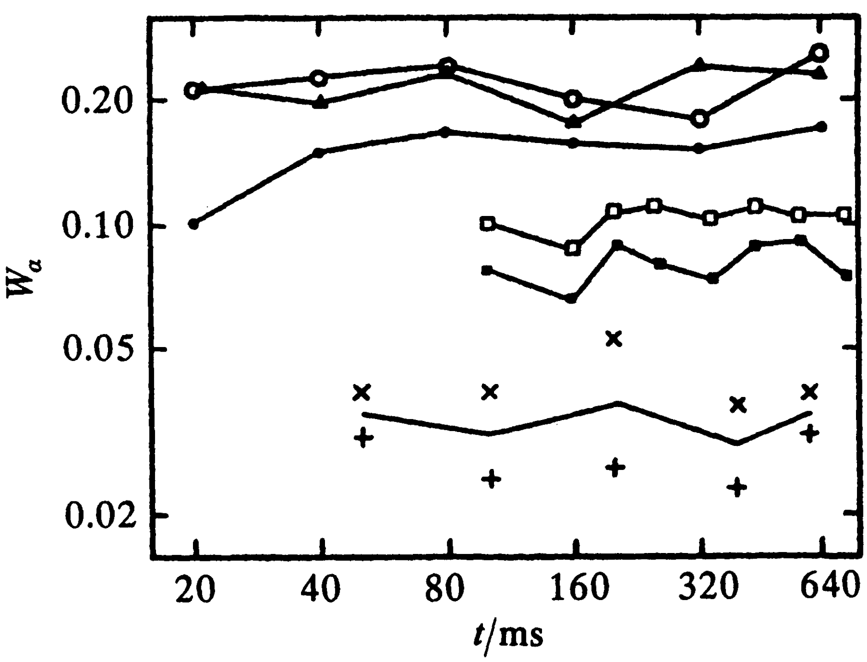

図２６　空虚時間の長さ t に対する修正ウェーバー比、W_α。α = 80〔ms〕とし、W80 の値を示す。●→ A1、○→ A2、▲→ A3、＋→ G1、×→ G2、□→ K1、■→ K2。G1、G2 のデータを算術平均値にまとめ、グラフの一番下の線によって示す。グラフが一定の値（水平）に近いことは、修正されたウェーバーの法則がよく当てはまっていることを示す。このグラフは、図２５のグラフと直接比較されうる。

この式は、空虚時間の長さに関して、物理的な次元におけるウェーバー比が一定にはならないのに対して、主観的な次元におけるウェーバー比に対応する値が一定になることを意味する。ウェーバーの法則は、通常物理的な次元に適用されるが、ここでは、同じ形式の法則が、比率判断実験のデータから求められた主観的な次元に当てはまっている。精神物理学の分野において、このような法則を体系的に提案したのは Ekman (1959) である。彼は、このような形に修正されたウェーバーの法則が、「聴覚を通じて示された時間」を含む様々な主観的次元に適用されうると述べている。しかし、残念なことに、時間知覚ないし時間評価に関する実験の詳細は、報告されていない。

ここで、修正ウェーバー比を、以下のように定義することができる：

$$W80 = \Delta t / (t+\alpha) \qquad \alpha = 80 \text{ [ms]} \qquad (50)$$

各条件に関する修正ウェーバー比を図２６に示す。修正ウェーバー比 W80 は、図２５に示された本来のウェーバー比 W0 よりも一定に近く、標準時間が極端に短い（したがって、今回の考察には含めない）場合を除いて、系統的な逸脱が認められない。（条件 A1 において標準時間が 20 ms であるとき、修正ウェーバー比が他のところよりも小さい値になっているが、この点は＜つけくわえ仮説＞を適用する際の要件２に示された範囲から逸脱している。）

Abel の実験においては、上弁別閾のみが測定されているが、ここで得られた結論は、下弁別閾についても成り立つと考えられる。その理由を以下に示す。標準時間 t に対する上弁別閾が Δt であるとき、標準時間 $t+\Delta t$ に対する下弁別閾が Δt であると考えることができる。この場合、上弁別閾および下弁別閾から得られた、修正ウェーバー比が、それぞれ Wu および Wl であるとすると、

$$Wl = \Delta t / \{(t+\Delta t)+\alpha\} = \{(1/Wu)+1\}^{-1} \qquad (51)$$

との関係が得られる。Abel の実験結果において Wu が一定であったから、Wl（下弁別閾から得られた修正ウェーバー比）も一定の値をとる。すなわち、下弁別閾に対しても同様の法則が成り立つと考えてよい。

Kristofferson の実験における K1 および K2 の条件では、かなりの局所的な逸脱が見られる。これは、彼の発見した、弁別のちらばりの量子的な変化を示すものである。しかし、全体として見れば、彼の実験結果も、ここで提案するウェーバーの法則の修正を支持するものである。

式 (44) においては、I = 0 の場合にも、ΔI の値を計算することが形式的に可能である。Ekman は、この値が絶対閾（知覚が生ずる、生じないの境目に当たる物理量）の値であるかもしれないと考えた。もしこの考えかたが正しければ、式 (50) および実験データから、聴覚的に示された空虚時間の絶対閾は、2～25 ms の間にあることが導かれる。ところが、時間長の絶対閾を定義することは、実際には大変難しい。２つの短い音事象を聴き分けるためには 1～2 ms 程度の時間間隔が必要であり（Wallach, Newman, & Rosenzweig, 1949; Green, 1971）、それらの時間順序を識別するためには、20 ms 程度が必要である（Hirsh, 1959）。いずれも、空虚時間の長さの絶対閾とみなすことが可能であるが、上に記した範囲は、この両方に結びつきうる。この点に関して更に詳しく検討することは、現在得られている知覚実験のデータに相当なばらつきがあるため、困難である。

表１４　ウェーバーの法則の修正。本来のウェーバー比 W0 および修正されたウェーバー比 W80 ないし W_α は、ここに示す指標の値が小さいほど、一定に近いと考えられる。

	SD of log W_0	SD of log W_{80}	Minimum SD of log W_α	Optimum α/ms
A1*	0.163	0.021	0.021	78
A2	0.214	0.059	0.030	142
A3*	0.164	0.065	0.063	67
G1*	0.173	0.060	0.059	90
G2*	0.158	0.062	0.062	81
K1	0.060	0.034	0.029	55
K2	0.063	0.054	0.046	41

SD = standard deviation; * = important condition.
All logarithms are to the base of 10.

５．４　Getty の修正と本研究における修正との比較

Getty は、ここで述べたようなウェーバーの法則の修正を認めていない。この種の修正を最初に提案したのは Fechner であり、彼は、式（44）に示すように、標準刺激値に正の定数を加算することを提案した（Baird & Noma, 1978）。Getty によれば、Fechner は、そのような定数が実験上のノイズ（不確定な要因）を反映すると考えているが、Getty 自身は、ノイズを単純な加算定数として表すべきではないと論じている。すなわち、弁別閾によって示される判断のばらつきは、本来、標準刺激値を示す次元の２乗の次元で捉えるべきであり、実験上のノイズは、２乗の次元で加算されるべきであると考えた。ところが、Ekman (1959) は、Fechner の修正式と同じものを、全く別の理論的枠組みから提案している。Ekman は、比率に関する判断を求めるような知覚実験から得られた心理尺度（物理量と主観量との関数関係）から出発し、物理的次元ではなく、主観的次元の上にウェーバーの法則と同型の法則が成り立つことを示した。さらに、それに続いて、数学的に式（44）を導いた。Ekman の理論的基盤、および、それに基づいて本論文に提出したウェーバーの法則の修正に対しては、式（44）が実験上のノイズの記述として不適切であるとする、Getty の批判は当てはまらない。

Getty 自身は、ウェーバーの法則を別の形で修正することを提案している。その考えかたに従えば、弁別判断の散らばりは、弁別閾の２乗で表され、２つの要因に分けられる。そのうち、一方の要因は標準時間の２乗に比例し、もう一方の要因は恒常的であると想定されている。すなわち、ウェーバーの法則は、次のように修正される：

$$\Delta t^2 = W_g{}^2 t^2 + s^2 \quad , \quad W_g > 0,\ s > 0 \qquad (52)$$

この関係は次のように記すこともできる：

$$Wg = (\Delta t^2 - s^2)^{1/2} / t \qquad (53)$$

Wg の値は、Getty の論文の式 (3)-(5) において kw と表されたものであり、本論文における修正ウェーバー比 W_α に似ている。式 (53) における s の最適値は、分析の対象となる全ての標準時間についての log Wg の標準偏差を最小にする値であると考えてよいであろう。この Getty の修正を評価する指標は、本論文における修正を評価する指標と、直接比較することができる。そのような比較の結果を表１５に示す。いずれの修正も、Getty の実験データを、同じ程度に良く記述するようである。しかし、本論文で提出した修正のほうが、以下の点で優れている：

(i) α の値が一定 (80 ms) であると見なされうるので、比例定数を別にすれば、実験データから後付けのかたちでパラメーターを決定する必要がない。関数の式の形のみを提出し、実質的な「予測」の点では不満を残すような、多くの数理モデルとは一線を画している。

(ii) 弁別判断と比率判断とを、理論的に関連づけることができる。

Killeen と Weiss (1987) は、ここで取り上げたような弁別実験のデータを一般的に表現する方法を提案した。それは、弁別閾の２乗を、標準時間長を変数とする２次関数（その特殊な場合として１次関数をも含む）で表すと言うものである。この考えかたは、Getty の修正と、＜つけくわえ仮説＞に基づく修正とを、いずれも特殊な場合として含むことになるので、今後実験的な検討を重ねてゆく際に有益であろう。ただ、今回の分析に関する限り、簡単な数式が充分に良い近似を与えており、より複雑な実験式を用いても、パラメーターの数が増えることを正当化しうるほど近似が改善することはありえないので、敢えてそのような検討を行う必要は認められない。

Ekman の提案において最も重要な点は、物理的次元と主観的次元との間に、類似の関係を想定していることである。式 (49) および (50) は、その一例である。このような考えかたを初めて提出したのは、哲学者の Brentano であるとされている（例えば、Keats, 1971）。彼はこの考えかたに従って、ウェーバーの法則を出発点として、主観量は物理量のべき乗（冪乗）に比例すると言う＜べき関数の法則＞を導き出し、Stevens (1957) に先立って提案している。その考えかたは、主観的次元と物理的次元とに、全く異なった種類の関係を仮定している Fechner の考えかた（弁別閾分の増減に相当する物理量の等比的な変化が、主観量の等差的な変化に対応するとの仮説）に対立するものである。しかし、Fechner は、式 (44) に示したようなウェーバーの法則に対する修正案を提出しており、こちらのほうは Brentano および Ekman の仮定に関係づけられる。

５．５　まとめ

空虚時間の長さに関するウェーバーの法則は、ウェーバー比の分母となる標準時間の値に、＜つけくわえ定数＞ α を付加するような修正を施すことによって、弁別実験のデータへの当てはまりが著しく改善される。すなわち、絶対弁別閾を

表１５　ウェーバーの法則を修正する本論文の方法と Getty の方法との比較。修正ウェーバー比（本研究における W80、および Getty の研究における Wg）がどの程度一定に近いのかが、指標によって示されている。指標の値が小さいほど、修正ウェーバー比は一定に近い。

Condition	Durations 50-600 ms			Durations 50-1200 ms		
	SD of log W_{80}	SD of log W_g	optimum s/ms	SD of log W_{80}	SD of log W_g	optimum s/ms
G1	0.060	0.066	3.6	0.077	0.071	3.5
G2	0.062	0.087	4.5	0.056	0.089	4.6

SD = standard deviation. All logarithms are to base 10.

標準時間の物理的な長さに α を加えたもので割った値を<修正ウェーバー比>であると考えれば、この値はほぼ一定になる。40～600 ms の範囲のみをここでは分析したが、Getty のデータは、この関係が 2000 ms に至るまで概ね妥当であることを示している。ウェーバー比（相対弁別閾）に相当する値を、主観量の次元で求めると、この値が一定になると言う単純な法則が得られ、Ekman (1959) の理論が支持される。