

歯科におけるサイコロロジとその応用

井上勝一郎

鹿児島大学歯学部歯科理工学講座

1. はじめに

以前、同誌で“歯科材料のレオロジー”について記述したことがある。そこでは主として、歯科における有機系材料の物性を分子論的見地から検討していく場合にはレオロジーが、有力な手段になることを説明した¹⁾。今回は、その際紙面の都合で触れることができなかったサイコロロジ (psychorheology) とその歯科領域への応用について記述することにする。

当教室では長年、「歯科材料のレオロジー」というテーマをかかげて、印象材、義歯床用レジン、歯冠用レジン、充填用レジン、義歯床用軟性裏装材、レジンセメント、根管充填材 (シーラーを含む) などの多くの有機系材料を対象に、臨床での取扱い (環境因子) を考慮してそれぞれの材料のレオロジー的挙動を調べ、個々の材料の構造と結びつけて検討してきた。ポリマーをベースにした材料では金属材料と異なり、室温付近での粘性が極めて低いため、いかなるタイムスケールでその挙動をとらえるかによって、挙動の解釈は大きく異なってくる。また、温度や水分などの環境因子の作用によってもその挙動は大きく変化する。十数年前までは、個々の材料の使用目的を考慮して測定条件の設定を行い、レオロジー的性質の計測を行う一方、口腔内組織 (軟組織や硬組織) のレオロジー的性質 (もっぱらバイオレオロジーの分野で取り扱われるもの) も合わせて計測し、両者のずれをもとに、個々の材料のあるべき挙動について検討し、明らかにしてきた²⁻⁸⁾。しかし、こうした材料も最終的には歯科医師あるいは患者の厳しい評価を受けることになる。したがって、近年ではこの分野に関するデータの収集につとめている。今回の表題を「歯科におけるサイコロロジとその応用」としたのもこうした理由からである。

2. レオロジーとサイコロロジ

レオロジーについては、ご存知のように流動学と訳され、材料に加わる力とそれによって生じるひずみを、時間との関係で調べ変形 (あるいは流動) の起こり方を物質の構造と結びつけて解釈していく学問である。

印象材ペーストやアクリル系軟性裏装材練和物のように液体的要素の極めて大きい材料の挙動をうまく表現する式として下記の Nutting の式がある^{9,10)}。

$$\psi = P^\beta \gamma^{-1} t^\alpha$$

但し、 P は応力、 γ はひずみ、 α, β はそれぞれ定数であるが、この式は複雑な物質の変形と流動を記述するのに極めて便利で、例えば、 $\alpha=0, \beta=1$ とおくとフック弾性を表す式 ($\psi = P\gamma^{-1}$) となり、 $\alpha=1, \beta=1$ とおくとニュートン粘性を表す式 ($\psi = P\gamma^{-1}t$) となる。さらに、この式では α, β を適当に与えることによって、非フック弾性、非ニュートン粘性、粘弾性変形、チクソトロピー、ダイラタンシーなど歯科に関係深い殆どの有機系材料のレオロジー的挙動を記述することもできる。

さて、サイコロロジ (心理学レオロジー) という言葉は、イギリスの G. W. Scott Blair 博士によって初めて提唱されたもので、人間の力学的感覚 (皮膚感覚を通しての弾性感覚、粘性感覚) を感覚心理学の立場から解析しようとしたものである^{11,12)}。博士は、チーズの硬さについて研究し、指による感覚とチーズから受けるレオロジー的刺激との関連について調べた。この拠所となったのは Weber-Fechner の法則である。この法則は、感覚の増し高 (ΔE) が弁別閾 (ΔR) と刺激強度 (R) との比、即ち $\Delta R/R$ に比例するというもので、弁別閾という間接的な手段を用いて感覚を表そうとしたものである¹³⁾。これに対し、感覚の直接的な量判断を被験者自身に求めようとした

ものもある。Stevens のべき関数の法則と呼ばれるもので $E = aR^b$ で表される。この法則では、感覚の大きさ (E)、刺激強度 (R) をそれぞれ対数表示すると、それらの間には直線関係が成り立つというものである¹⁴⁾。

$$\ln E = \ln a + b \ln R$$

これら二つの法則はいずれも人間の力学的感覚と刺激強度とを結びつけたものである。

G. W. Scott Blair 博士によれば、人間の力学的感覚量と物質のレオロジー的性質 (レオロジー的刺激) とを結びつけるには、Nutting の式が最も有用であるとした。そして、人間の感覚は単純に弾性率や粘性率のディメンジョンでは表せず、もっと複雑で総合的な量であるとしている。

3. 印象材への応用

アルジネート印象材は、歯科医師、歯科衛生士らの手によって練和され、トレーに盛り、患者の口腔内へ運ばれる。この際、印象採得しやすいか否かは、練和物ペーストの硬さによって判別することになる。そこで、次のような実験を試みた。経験年数4年以上の若手歯科医師17名を対象に、17種類のアルジネート印象材を練和 (個人差をなくすため練和は機械練和と) し、既製の網トレー上に盛り、実習用顎模型へ圧接させる操作を行わせた。そしてその過程で実際の臨床をイメージしてペーストの硬さを丁度よい、硬すぎる、軟らかすぎるの3段階で判別 (判断) させた。一方、練和開始から歯科医師による判別時までの時間、ペーストの粘性 (図1,2) がどのように変化するかを調べ、判別結果と対比させた。その結果、図3に示すように、丁度よいと判別した比率 (P%) と粘性の間に分散がみられ、好みの粘性域があることがわかった。この曲線のピーク位置での粘性を規準にし、P% の対数 ($\ln P$) と粘性係数の対数 ($\ln \eta_a$) (4) 間には直線関係 (図4) がみられ、Stevens の法則にもあてはまる¹⁴⁾。これらのことは、歯科医師はそれぞれの経験から、口腔内で使用する場合の適切なペーストの粘性範囲 (稠度) を弁別していると考えられよう。このような情報は、材料開発を志す者にとっては有用であると考えられる。

4. 義歯への応用

サイコロロジー的な考え方は、義歯のような製作物についても応用できる。総義歯に頼っている患者が

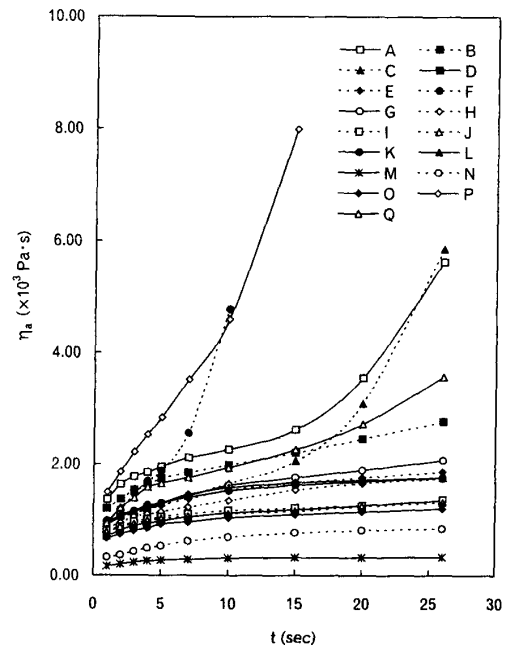


図1 練和開始後48秒からの時間経過に伴う見かけ粘度係数の変化¹⁴⁾

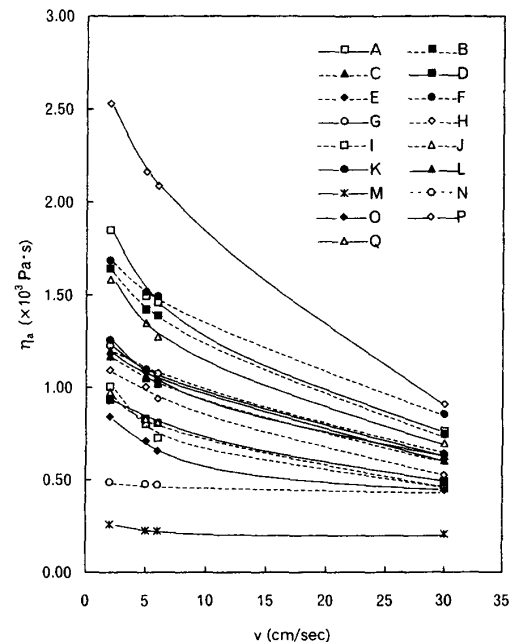


図2 圧接速度に対する見かけ粘度係数の変化¹⁴⁾

弾性体あるいは粘性体をどのように弁別するかを、上下顎とも健全な歯を持つ人の場合と比較した例を紹介しよう。弁別に使用する材料として、弾性率がわずかず異なるゴム系材料 ($E = 11.9 \sim 84.4 \text{ MPa}$) 6種類とフィラーを加えて粘度を少しずつ変えたシリコンオイル系材料 (ペースト) 6種類を準備した。ゴム系材料の弾性率は、ソフトキャラメルからハードキャン

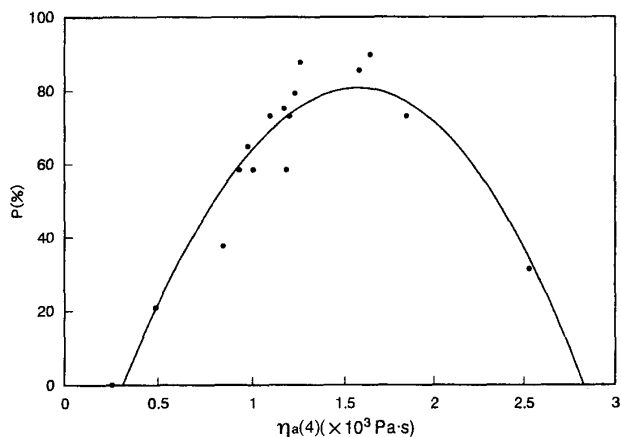


図3 歯科医師による弁別Pと見かけ粘度 $\ln \eta_a(4)$ の関係¹⁴⁾

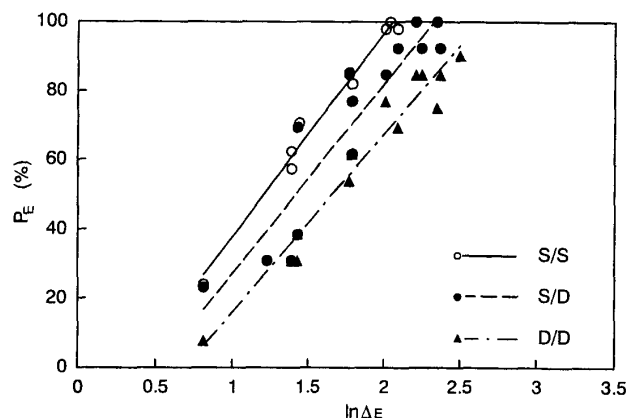


図5 10秒間軽く咬むことによって決めた弾性体の弁別¹⁶⁾

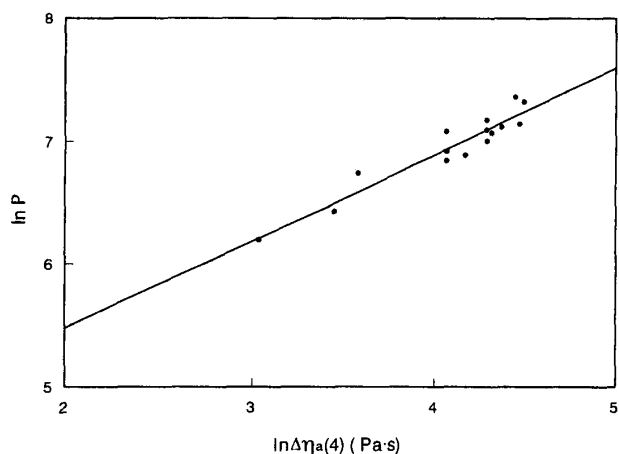


図4 $\ln P$ と $\ln \Delta \eta_a(4)$ との関係¹⁴⁾

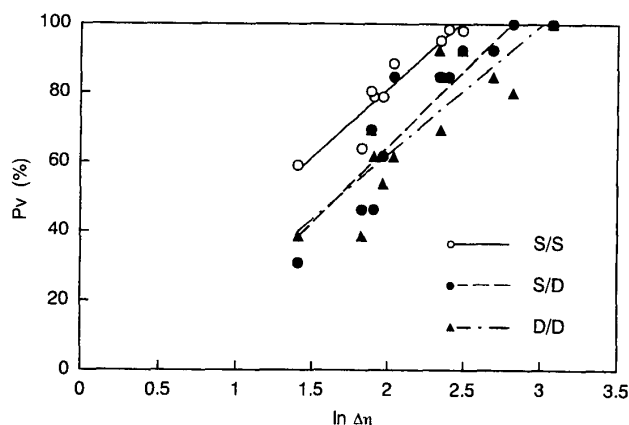


図6 10秒間軽く咬むことによって決めた粘性体の弁別¹⁶⁾

ディー程度の弾性率に相当する。弾性体については、弾性率が異なる2個を、粘性体については、粘性率が異なる2個をそれぞれ10秒間だけ交互に咬ませ、どちらが硬いかを判別させる。被験者は、上下顎とも健全な歯を持つ人(16名)、上下顎のいずれかに総義歯を装着している患者(6名)、上下顎の双方に総義歯を装着している患者(7名)とした。判別総数の中でレオロジー的測定結果と同じ回答をした比率P% (正解率)と判別に使用された弾性体、粘性体間の弾性率、粘性率の差 ($\ln \Delta E$, $\ln \Delta \eta$) の対数の関係を示すと図5, 6のようになり、直線関係が得られる。上下顎とも健全歯をもつ人達による弁別直線に比べて、義歯を装置した人達による弁別直線が $\ln \Delta E$, $\ln \Delta \eta$ の大きい方向に移行している^{15,16)}。このことは健全歯をもつ人達よりも弁別しにくくなることを示している。表1に弾性体、粘性体に関する弁別閾を、また、表2に健全歯をもつ人達の弁別閾に対する義歯使用患者の弁別閾の比を示した。これらによると、義歯の使用に

表1 弾性性、粘性体に関する弁別閾¹⁶⁾

弁別閾	弾性体	粘性体	比
$\Delta R_{S/S}$	71	189	2.7
$\Delta R_{S/D}$	135	412	3.1
$\Delta R_{D/D}$	275	648	2.4

S : 健全歯 D : 総義歯

表2 弾性性、粘性体に関する弁別閾¹⁶⁾

条件	弁別閾比	
	弾性体	粘性体
$\Delta R_{S/S} / \Delta R_{S/S}$	1.0	1.0
$\Delta R_{S/S} / \Delta R_{S/D}$	0.5	0.5
$\Delta R_{S/S} / \Delta R_{D/D}$	0.3	0.3

S : 健全歯 D : 総義歯

関係なく、弾性体に比べて粘性体の方が弁別しにくいことがわかる。また、上下顎とも健全歯をもつ人達の場合に対し、上下顎のいずれかに義歯を使用する人達との比は0.5、上下顎ともに義歯を使用する人達との比は0.3となり、義歯に頼る部分が多くなるとそれだけ、弁別しにくくなることを示している。

以上2例についてサイコロロギー的な技法ならびに考え方について紹介したが、このような知見は、歯科医師あるいは患者の感覚的要素を採り入れることによって、初めて明らかになることといえよう。歯科領域において、利用者の感覚的要素を取り入れた研究はこれまで殆どなされていないが、歯科材料の操作性や製作物のように利用者の感覚が大いに関係するものの評価については、問題解決への有力な一手段となり得るものと考えている。今後、この面での研究が一層活発化することを期待し、本稿を終えることにする。

謝辞

稿を終えるにあたり、原稿の整理ならびに図表作成などの作業をしていただいた歯科理工学講座スタッフならびに小林加代子技官にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井上勝一郎：歯科材料のレオロジー，鹿歯記，3，25-35，1983
- 2) Wilson, H. J. : Some properties of alginate materials relevant to clinical practice. *British Dental Journal*, 121, 463-467, 1966
- 3) Inoue, K. & Wilson, H. J. : Viscoelastic properties of elastomeric impression materials, I. A method of measuring shear modulus and rigidity during setting. *Journal of Oral Rehabilitation*, 5, 89-94, 1978
- 4) Inoue, K. & Wilson, H. J. : Viscoelastic properties of elastomeric impression materials, II. Variation of rheological properties with time, temperature and mixing proportions. *Journal of Oral Rehabilitation*, 5, 261-267, 1978
- 5) Inoue, K. & Wilson, H. J. : Viscoelastic properties of elastomeric impression materials, III. The elastic recovery after removal of strains applied at the setting time. *Journal of Oral Rehabilitation*, 5, 323-327, 1978
- 6) Inoue, K., Arikawa, H., Fujii, K., Shinohara, N. & Kawahata, N. : Viscoelastic properties of oral soft tissue, I. A method of determining elastic modulus of oral soft tissue. *Dental Materials Journal*, 4(1), 47-53, 1985
- 7) Inoue, K., Itonaga, A., Tsuruda, H., Arikawa, H., Kanie, T., Fujii, K., Hamano, T., Kishita, C. & Nagaoka, E.: Comparison of the hardness of tissue conditioners and oral soft tissue measured by a modified hardness tester. *Dentistry in Japan*, 30, 110-114, 1993
- 8) 井本立也：概説レオロジー（上）（現代科学シリーズ16），第1版，82-84，東京科学同人，東京，1963
- 9) 中川鶴太郎：レオロジー（岩波全書）第2版，186-188，岩波書店東京，1982
- 10) Scott Blair, G. W. : The role of psychophysics in rheology. *Journal of Colloid Science*, 2, 21-31, 1947
- 11) Scott Blair, G. W. & Coppen, F. M. V. : The subjective judgment of the elastic and plastic properties of soft bodies; the differential thresholds for viscosities and compression moduli. *Proceedings of The Royal Society of London*, B 128, 109-125, 1939
- 12) 麦島文夫，安香 宏，森 武夫：新版心理学要論，新版初版第6刷，13-21，有斐閣双書，東京，1990
- 13) 東 洋，大山 正，詫摩武俊，藤永 保：心理用語の基礎知識，新装版第27刷，80-81，有斐閣，東京，1996
- 14) Inoue, K. , Song, Y. X., Fujii, K., Kadokawa, A. & Kanie, T. : Consistency of alginate impression materials and their evaluation. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26, 203-207, 1999.
- 15) 井上勝一郎，蟹江隆人，有川裕之，藤井孝一，宋育萱，廣森健二：歯科材料とサイコロロギー，*Journal of dental engineering (DE)* , 126, 21-24, 1998
- 16) Inoue, K., Fujii, K., Kanie, T., Kadokawa, A. & Tsukada, G. : An evaluation of acrylic complete-dentures using the discrimination of elastic bodies or viscous fluids. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26, 608-612, 1999