指の柔らかさと関節の回転抵抗を考慮した手指の 3次元モデルとそのシミュレーション*

岩田一明** 小野里雅彦** 西田修三*** 西中大之†

Three Dimensional Model of Human Hands and Simulation
Considering Elasticity of Fingers and Joints

Kazuaki Iwata, Masahiko Onosato, Shuzo Nishida and Tomoyuki Nishinaka

This paper describes a three-dimensional model of a human hand considering the softness of fingers and the revolving resistance of finger joints. They are expressed by nonlinear springs that can set limits to their possible displacements. To measure the elastic characteristics of nonlinear springs and the friction coefficients of finger ball skin, three measuring devices are developed. Based on the model with elasticity of fingers and joints, a simulation method is proposed which makes it possible to estimate torques by muscle, torques by elasticity, the distribution of acting forces between fingers and an object, and the stability of a grasped object. An example of the simulation in which a square object is grasped with a thumb and a middle finger is explained to evaluate the effectiveness of the simulation method proposed.

Key words: three-dimensional human hand model, revolving resistance of finger joints, softness of fingers, grasping simulation

1. 緒 言

人間の手指は屈曲、伸展、内・外転など多種の運動機能を持ち、それらの組合せにより多様な動作や作業などを行うことができる。このため、人間の手指のモデルと関節に作用する力、トルクや筋力などの推定方法や、手指の機能と動作特性に関する研究が進められてきた^{1,2)}。

他方、手指の特性を、人工の手あるいは産業用ロボットのハンドの設計時に導入しようとする試みは従来よりかなり行われてきた。例えば、汎用性のある器用なロボット・ハンドの製作³⁾⁻⁵⁾、弾性指を有するロボット・ハンドの研究^{6,7)}などである。

しかし、人間の指のように多種の運動機能を持ち、かつ器用な人工の手を設計・制御するには、そこで必要となる情報を得ることを目的とした手指の動作解析や機能の基本特性の体系的な研究が必要と考えられる。

そこで本研究では指の柔らかさが手指の動作に及ぼす影響に注目して、まず、指の柔らかさを考慮した3次元モデルを作成する。次いで、このモデルに関節の回転抵抗を導入して、微妙な手指の動作を解析するシミュレーションの方法を提案する。

2. 手指の3次元モデル

2.1 モデル構築の仮定

手指の動作を解析する場合、指節・関節に作用する力やトルクは重要な要因であるが、現在、これらを直接に測定することは不可能である。そこで可能なアプローチとしては、適切な手指モデルを構築し、手指に作用する力と手指の運動情報をもとに、動力学的解析を行い、関節部に作用する力やトルクを推定する方法が考えられる。

構築するモデルは人間に近いモデルであるほど、解析結果の信頼性は向上するから、手指形状や動きを詳細にモデル化することが望ましい。しかし、詳細にすぎると計算の複雑さなどから現実的でない。そこで、本研究では、人間の筋肉の作用を関節部における

* 原稿受付 平成2年12月19日。1990年度精密工学会秋季大会学術講演会（平成2年9月29日）にて発表

** 正会員 大阪大学工学部（吹田市山田丘2-1）

*** 正会員 摂南大学工学部（寝屋川市池田中町17-8）

† 三菱電機（株）（尼崎市塚口本町8-1-1）

Fig.1 Twenty segments of a hand

Fig.2 Shape of a finger segment

Fig.3 Condition of constant volume of segments

力とトルクに換算して考える骨格モデルをベースに、指の柔らかさと関節の回転抵抗を導入した手指のモデルを構築する。

モデルの構築にあたって導入した仮定は以下の通りである。

- 1) 手指は図1に示すように関節部で20の要素に分割し、各要素は楕円すい台で近似する。図中のCM関節、MP関節、PIP関節、IP関節はそれぞれ、手根中手関節、中手指節関節、近位指節関節、遠位指節関節を表す。
- 2) 各楕円すい台の基本形状は、手指の進展した状態においては、図2のように仮定する。ここで、指部の楕円すい台の非対称性とその比率は、指のレントゲン写真の観察に基づいて決定された。指先の要素としては半球を付加したものを考える。
- 3) 各楕円すい台は、指の屈曲した状態においては図3に示すように、体積が一定になるように変形するものとする。すなわち、図3(a)において斜

線部を変形可能領域と仮定し、指を屈曲させると図3(b)のように、隣接する要素に交わる領域との変形によって発生する領域の体積は等しくなるように変形する。

4) 各要素の比重は1.0とする。

5) 各要素の質量分布は一様とし、3)で示した以外に、物体との接触による変形を考慮するが、接触部の要素の重量は変化しないものとする。

2.2 座標系の定義

手指の各要素間の関係を記述するために、各指部の3個(ただし、母指は2個)の要素 i, j, k に対してそれぞれ固有の動座標系 $o_l - \xi_l \eta_l \zeta_l$ ($l=i, j, k$) を定義する。

指部の動座標系の原点にはMP, PIP, DIP関節点を選び、各要素の原点から他端点へ向かう軸を η_l 、指の屈曲・伸展の中心となる軸を ζ_l 、 η_l と ζ_l と共に右手座標系を構成し、手の甲を向いた軸を ξ_l とする。

掌部の5つの中手骨(図1中の15~19)ならびに、手根骨(図1中の20)に対しても、それぞれ動座標系 $o_l - \xi_l \eta_l \zeta_l$ ($l=15, \dots, 20$) を定義する。手根骨の動座標系原点を手関節、中手骨の動座標原点をCM関節に選び、指要素と同様な座標軸を設定する。

手指の各要素の位置や姿勢の相対関係は、実測された手指要素の基本形状のデータと、可動軸回りの回転角の変数によって定められる同次座標変換により表現される。

2.3 指の弾性のモデル化

指が物体に接触するとき、指の柔らかさのため物体の形状にそって指が変形し、指はある広がりをもって接触する。物をつかむときは、この指の柔らかさによって指と物体の接触面積は大きくなり、物体を安定にしている。また、指先による対象物への微妙な操作は、指の関節を動かすだけでなく、指の接触面積や接触部位を変化させたりしていると考えられる。

従来、手指の動作の解析に用いられてきたモデルでは、手指を剛体としてモデル化しているため、指先と物体との接触は一点となる。このモデルでは先に挙げた人間の指の微妙な操作を明らかにすることが困難なことから、指の形状の柔らかさを考慮したモデルが必要となる。

そこで、ここでは指の柔らかさを簡単に表現するモデルとして非線形のばねを考慮した手指モデルを提案する。具体的には、指の表面を面要素に分割して、その要素ごとに指の表面に垂直方向(w)と接触方向(u, v)の3方向に非線形のばねを設定する(図4参照)。面要素 i に加わる力の j 成分 F_{ij} は、面要素 i の変位の

Fig. 4 Elastic model of finger ball segments with three nonlinear springs

j 成分 d_{ij} の関数 f_{ij} ($j = u, v, w$) により表されるものと仮定する.

$$F_{ij} = f_{ij}(d_{ij}) \quad (j = u, v, w) \quad (1)$$

ここでは、各要素のパネは独立なものとして仮定しており、面要素間の相互作用は考慮していない.

2. 4 関節の弾性のモデル化

人間の関節の回りは靱帯や関節包でおおわれており、それらには関節を固定する働きや粘弾性的な性質がある. また、筋肉は能動的な収縮により付着する骨格を動かすが、受動的には粘弾性的要素として作用する. これらの粘弾性的要素をモデルで考慮することにより、骨格モデルでは考えることのできなかった関節の回転反力や関節の動く範囲が設定できる.

ここでは関節部分に非線形な弾性特性を有する回転ばねを設定したモデルを提案する. このモデルでは、反力を可動域の限界の近くで大きく増加させることにより、関節の回転角度に制限と、関節部分にある靱帯などの働きによる回転抵抗を考慮に入れることができる. いま、ある関節(関節 i とする)において、モデルの関節部の回転ばねのトルク T_{ie}^k と関節の回転角 θ_{ie} との関係を与える関数 t_{ie} を導入する.

$$T_{ie}^k = t_{ie}(\theta_{ie}) \quad (2)$$

ここでは、トルクは関節の角度にのみ依存するものとし、関節における粘性による抵抗は考慮していない. 関節 i に作用する全トルク T_i は、筋力によって能動的に生じるトルク T_i^m と、ここで導入した関節の弾性による受動的なトルク T_i^k の和となる.

$$T_i = T_i^m + T_i^k \quad (3)$$

これにより、関節に外部から作用するトルクが同一であっても、関節角が変わると関節の弾性によるトルクが変化し、それに伴い筋力による能動的なトルクが変わることになる.

2. 5 指の最大静止摩擦力のモデル化

把持された対象物の安定性を判断するためには、最大静止摩擦力を考慮することが必要となる. 本研究では、指が弾性を有しているため、指の表面での摩擦は押付け力以外に、接触面積が影響し、クーロン摩擦だ

けでは表すことができない. そこで、対象物と接触している面積 S のうち、 α ($\alpha \leq 1$) の部分では、指は面圧に関係なくせん断を受け、残りの $(1-\alpha)$ の部分ではクーロン摩擦にしたがうものと仮定する. すると、単位面積に作用する摩擦力の大きさ f は、せん断抵抗 τ 、クーロン摩擦係数 c 、単位面積当たりの押付け力 p に関して次式で表される⁸⁾.

$$f = \tau\alpha + cp(1-\alpha) \quad (4)$$

いま接触面積が S であるとき、摩擦力の大きさ F は、

$$F = S\tau\alpha + cP(1-\alpha) \quad (5)$$

となる. なお、 $P = pS$ であり、押付け力の合計である. いま、 τ , α , c が指の変形量によらず一定であると仮定すると、

$$F = S\tau' + c'P \quad (6)$$

ただし、 $\tau' = \tau\alpha$, $c' = c(1-\alpha)$ となる. 式(6)より、 F , S , P の組を測定し、 τ' , c' を求めることにより、任意の押しつけ力と接触面積に対して最大静止摩擦力を求めることができる.

3. 手指の運動方程式の導出

次に、手指の各関節に作用する力ならびにトルクを算出するために、2 節において述べた手指の3次元モデルの任意の要素に関して運動方程式を求める(図5参照).

任意の要素 i に関して、力の釣合いより、

$$\sum_{j=1}^{N_i} F_{i,j}^e + F_{i-1,i} + F_{i+1,i} + W_i g = W_i a_i \quad (7)$$

関節回り (o_i) のモーメントの釣合いより、

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{N_i} (r_{i,j}^e \times F_{i,j}^e) + T_{i-1,i} + T_{i+1,i} \\ + (l_i \times F_{i-1,i}) + (r_{Gi} \times W_i g) = M_i \end{aligned} \quad (8)$$

が成り立つ. ここで、

Fig. 5 Force and torque acting upon a segment

Fig. 6 Data flow of the simulation method for analyzing grasping

- $F_{i-1,i}$: 要素 i への要素 $i-1$ からの作用力
 $T_{i-1,i}$: 要素 i への要素 $i-1$ からの作用トルク
 $F_{i,j}^e$: 外部より要素 i に作用する j 番目の力
 $r_{i,j}^e$: o_i より $F_{i,j}^e$ の作用点への位置ベクトル
 W_i : 要素 i の質量
 r_{Gi} : o_i より要素 i の重心への位置ベクトル
 a_{Gi} : 要素 i の重心の加速度
 l_i : o_i より o_{i+1} への位置ベクトル
 M_i : 静止座標系における o_i 回りのモーメント
 g : 重力加速度
 N_i : 外部より要素 i に作用する力の数

である。 r_{Gi} はモデルの各要素の重心位置を計算することで求められる。また M_i は要素 i のモーメントであり、これの動座標系における各成分は、以下の式より求めることができる。

$$\begin{pmatrix} M_\xi \\ M_\eta \\ M_\zeta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_\xi \dot{\omega}_\xi + (I_\zeta - I_\eta) \omega_\eta \omega_\zeta + I_{\xi\eta} (\dot{\omega}_\eta - \omega_\zeta \omega_\xi) \\ I_{\eta\xi} \dot{\omega}_\eta + (I_\xi - I_\zeta) \omega_\zeta \omega_\xi + I_{\eta\zeta} (\dot{\omega}_\xi + \omega_\zeta \omega_\eta) \\ I_{\zeta\xi} \dot{\omega}_\zeta + (I_\eta - I_\xi) \omega_\xi \omega_\eta + I_{\xi\eta} (\omega_\xi^2 - \omega_\eta^2) \end{pmatrix} \quad (9)$$

ただし、

- I_ξ, I_η, I_ζ : 要素 i の ξ, η, ζ 軸回りの慣性モーメント
 $I_{\xi\eta}, I_{\eta\xi}$: 要素 i の慣性乗積
 $\omega_l, \dot{\omega}_l$: 要素 i の角速度と角加速度の $l (l=\xi, \eta, \zeta)$ 成分
 静止座標系におけるモーメントは、これに要素 i に固定した動座標系と静止座標系との座標変換行列をかけることによりえられる。

以上、手指の各要素に関して、手指の形状情報より $r_{Gi}, l_i, W_i, I_\xi, I_\eta, I_\zeta, I_{\xi\eta}, I_{\eta\xi}$ を求め、外力である $F_{i,j}^e$ とその作用点 $r_{i,j}^e$ ならびに要素の運動測定して $a_{Gi}, \dot{\omega}_l, \ddot{\omega}_l$ を測定して求める。それらを式(7), (8)に代入をして連立させ、指先要素から順次解くことにより、 $F_{i-1,i}$ と $T_{i-1,i}$ 、すなわち関節に作用する力とトルクを算出することができる。

4. 手指のモデルによるシミュレーションの方法

次に、人間の手の器用さ、機能、特性を明らかにするための、シミュレーションによる動作の解析方法について述べる。

指と関節の弾性を考慮した手指のモデルによるシミュレーションでは、母指と中指で対象物をつかむ動作を行う。関節の角度を変えて手指の姿勢を変化させ、指にどのような力が加わるか、関節力、関節トルクはどのように変化するか、また指と対象物との接触面積の変化や対象物の安定性などで評価を行う。

シミュレーションの流れを図6に示す。以下にシミュレーションの流れの個々の事項について述べる。

4. 1 手指の諸量の測定

4. 1. 1 手指の形状

2節で述べた手指の3次元モデルを構築するために、手指の各要素の必要な寸法を計測する。また、対象物と接触する指先の形状に関しては、図7に示す測定装置を用いて、2mm 間隔の格子点ごとに指の厚みを測定し、表面形状を決定している。母指と中指の指先について測定した結果を図8に示す。図中の η 軸が指先に向かう方向である。これにより、指先に設定したばね要素の基準位置が定められる。

4. 1. 2 指の弾性の測定

図8に示した母指と中指の指先の格子点のそれぞれについて、図7の測定装置を用いて弾性特性を測定した。測定方法は、脱力状態で固定された指の腹に対して、測定部の先端をゆっくりと押付けていく。そのときの押付け力と先端の変位とを記録し、それらの間の関係を適当な式で近似することで、式(1)の f_{ij} を定めることができる。測定された押付け力と変位との関係の一例を図9に示す。

Fig. 7 Measuring instrument for the shape of finger balls and the relation between force and displacement

Fig. 9 Relation between pushing force and displacement of the ball of a middle finger

Fig. 11 Relation between revolution angle and resistance torque (in case of a middle finger)

Fig. 12 Instrument for measuring coefficient of frictional force with respect to finger skin

Fig. 13 Relation between pressing force and friction coefficient (in case of a middle finger)

4. 1. 3 関節の回転抵抗の測定

指関節の屈曲角とそのときの回転抵抗を、図 10 に示す装置を用いて測定した。測定方法は、まず測定する指をあらかじめ型どりの石膏型に脱力した状態で固定し、測定する関節の回転中心と測定装置の回転軸とを一致させる。指にバーを徐々に押し付けていき、そのときの関節の屈曲角と加えられたトルクとを測定する。指の向きを上下変えて測定した結果を平均することで、自重の影響を除いている。中指の D I P 関節に対して測定した結果を図 11 に示す。

4. 1. 4 指の最大静止摩擦力

指の最大静止摩擦力は図 12 に示す把持力測定装置を用いて測定を行った。押付け力 P と最大静止摩擦力 F は、それぞれ把持力測定装置で測定される 3 分力より求められ、接触面積 S は指に赤インクをつけて押付けたときの跡から求めた。図 13 に示すように、静摩擦係数 μ は押付け力 P に対して一定ではないため、式(6)の仮定の元に、 F, P, S の測定値結果より、 τ' と c' を求めた。

4. 2 入力データ

シミュレーションの入力データとしては、手根骨に固定された座標系の位置、姿勢と手指の各要素の関節角、さらに対象物の形状、位置、姿勢が与えられる。これらの入力データと手指の3次元モデルより、各要素の位置、姿勢と、対象物との位置、姿勢関係を求めることができる。

4. 3 評価項目の導出

4. 3. 1 指が対象物に加える力

指の諸量と入力データが与えられて、指と対象物との位置関係が決まると、まず指が対象物に加える力を求める。2節において述べたように、指の弾性を考慮した手指のモデルでは、指先部を非線形のばね要素として考えているため、対象物の面に接触したときのばねの変位に応じて力を発生することになる。この力は対象物の接触面に対して垂直に作用し、指が対象物に加える力となる。また、指には2mm間隔でばね要素を考えているために、対象物に作用する力は分布力となり、変位しているばね要素を数えることによって接触面積を求めることができる。

4. 3. 2 対象物に作用する摩擦力和安定性

静止状態で把持しているときには、指が対象物に加える力と、対象物に加わる外力、対象物の質量が与えられると、指と対象物との間に作用する摩擦力を求めることができる。すなわち、対象物に作用する力と重心まわりのモーメントのつりあいより、

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M (F_{i,j}^n + F_{i,j}^f) + \sum_{k=1}^N F_k^e + Wg = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M (r_{i,j} \times (F_{i,j}^n + F_{i,j}^f)) + \sum_{k=1}^N (r_k^e \times F_k^e) = 0 \quad (11)$$

ただし、

$F_{i,j}^n$: i 番目の指の j 番目の要素が対象物に加える面に垂直な力

$F_{i,j}^f$: i 番目の指の j 番目の要素が対象物に加える面に摩擦力

F_k^e : 対象物に作用する k 番目の外力

L : 対象物を把持している指の数

M : それぞれの指先のばね要素の数

N : 対象物に作用する外力の数

W : 対象物の質量

g : 重力加速度

が成り立つ。ここでは、各要素ごとの摩擦力は、一意には定まらないため、垂直力に比例した大きさを持つということと、同一の方向を有するという仮定をおいて各要素の摩擦力の分布を定めている。

このようにして求められた各指の要素ごとの摩擦力の総和が、式(6)で与えられる最大静止摩擦力よりも大きいときには、対象物と指との間に滑りが生じて、対象物を把持することはできないものとする。

4. 3. 3 指に加わる力

指に加わる力は、指によって対象物に加わる垂直力の反力と対象物に作用する摩擦力の反力の合力であり、分布力となる。

4. 3. 4 関節に作用する力とトルク

指に加わる分布力と各関節点の3次元位置を用いて、式(7)、(8)を解くことで、各関節に作用する力 F_i とトルク T_i を求めることができる。また、関節角 θ_{ik} と、測定により定められた弾性特性 t_{ik} を、式(2)、(3)に代入することで、関節の弾性による回転抵抗 T_i^s と筋力によるトルク T_i^m を求めることができる。

5. 対象物の把持動作のシミュレーション

以上、説明したシミュレーションの流れに基づき、母指と中指で直方体の形状をした対象物を把持する動作シミュレーションを行なった。対象物の大きさは、幅80mm、奥行70mm、高さ90mmで、重さは約750gである。ここでは、関節の屈曲角を変えた2つの姿勢(A、Bとする)についてシミュレーションを実行した結果を示す。図14に2つの手指の姿勢のスケルトン図を示す。また、表1に姿勢A、Bそれぞれについての、対象物への作用、接触面積、各関節での関節力と関節トルクを一覧にしたものを示す。図15は姿勢A、Bそれぞれについて、母指と中指における対象物に加える力の分布を表したものである。これらの結果から、次のようなことがわかる。

姿勢Aと姿勢Bの対象物へ作用する力はほぼ等しいが、姿勢Bの方が指の関節の屈曲角が小さく、指の腹部で対象物と接している。そのため、姿勢Aと比べて姿勢Bは力が広く分布していることがわかる(図15参照)。また、姿勢Bは姿勢Aと比較してDIP関節が伸びた状態であるため、関節の抵抗に相当するトル

Fig. 14 Two configurations of fingers for grasping a square object

Table 1 Result of simulation of grasping a square object in configuration-A and configuration-B

		thumb		middle finger	
		A	B	A	B
contact area (mm ²)		108.0	156.0	88.0	124.0
acting force (N)		10.5	10.6	10.1	10.8
DIP	torque by muscle (N-mm)	—	—	202.2	180.4
	torque by elasticity (N-mm)	—	—	-4.3	14.9
PIP / I P	torque by muscle (N-mm)	157.4	127.1	201.1	203.3
	torque by elasticity (N-mm)	18.4	18.4	-3.2	-7.8
MP	torque by muscle (N-mm)	133.6	114.0	171.4	179.0
	torque by elasticity (N-mm)	43.7	43.7	24.4	14.6

ク分が大きく、筋力に相当するトルクが小さくなっている。

このように、本シミュレーションにより、手指の関節の屈曲角は把持位置を変えたときの対象への力の分布状態や関節に作用する力を求めることができ、手指の動きを評価する上で有効であると考えられる。

6. 結 言

本研究では、手指の有する機能や基本特性、器用さの解明を目的として、まず、手指の動作を解析する上で必要となる手指のモデルを検討し、指の柔らかさを考慮するとともに、それに関節の回転抵抗の考え方を導入したモデルを構築した。そして、このモデルを用いて、シミュレーションによる動作の解析方法を提案した。また、モデルにおける指と関節の弾性を測定するため、指に加えた力と変位を測定する装置と、関節に加えたトルクと屈曲角を測定する装置を開発した。

以上の研究の結果、得られた結論は以下のようになるとめられる。

- (1) 指の柔らかさをモデルで考慮することにより、指と対象物が接触するときに指が対象物に与える力の分布や分布の変化を求めることが可能となった。指先の微妙な動きに対しても力の分布が変化しており、手指の器用さや機能を明らかにする上で、指の柔らかさをモデルで考慮することが重要であることが認められた。
- (2) 関節の回転抵抗を考慮することにより、関節トルクを筋力による能動的なものと、弾性要素による受動的なものに分けて求めることができる。また、屈曲角による筋力の変化と関節の可動域の設定が可能となった。
- (3) 対象物を把持したときの各関節筋力、関節トルクの配分の導出と、把持された物体の安定性の判

Fig. 15 Distribution of normal force acting upon finger segments in configuration-A and configuration-B

別を行うことができる。

今後の課題としては、

- (1) より人間の手指に近い、詳細なモデルの構築、
- (2) 指と関節の弾性係数を正確に測定できる方法及び装置の開発、
- (3) 指先が対象物に作用する分布力（3分力）を計測することができる測定装置の開発、

などがあげられる。

参考文献

- 1) R. Toft and N. Berme: Biomechanical Analysis of the Joints of the Thumb, J. Biomech., Vol.13, (1980) 353.
- 2) E.Y. Chao, J.D. Opgrande, and F.E. Axmear: Three-Dimensional Force Analysis of Finger Joints in Selected Isometric Hand Functions, J. of Biomech., Vol.9, (1976) 387.
- 3) S.C. Jacobsen, J.E. Wood, D.F. Knutti and B. Biggers: The UTHA/M.I.T. Dextrous Hand, The Int.J. Robotics Res., 3, 4, (1984) 21.
- 4) 福田敏男, 下中賢: 人工の指の協調制御に関する基礎的研究 (第一報, 5本指多自由度の人工の手の機能と3次元把握の基本的考え方), 日本機械学会論文集, C編, 53, 487, (1984) 731.
- 5) J.C. Becker and N.V. Thakor: A Study of the Range of Motion of Human Fingers with Application of Anthropomorphic Designs, IEEE Trans. Biomed. Eng., 35, 2, (1988) 10.
- 6) M.R. Cutkosky and P.K. Wright: Friction, Stability and the Design of Robotic Fingers, The Int. J. Robotics Res., 5, 4, (1986) 20.
- 7) 花房秀郎, 浅田春比古: 弾性指を有するロボットハンドによる物体の安定な把握, 計測自動制御学会論文集, 13, 4, (1976) 370.
- 8) 山羽和夫, 高野英彦, 尾崎省太郎: 人間の指の物理的特性, バイオメカニズム, 3, (1975) 27.