

理学博士神谷宣郎君の「植物細胞の原形質流動及び水分生理の研究」に対する授賞審査要旨

植物細胞の原形質流動の研究は古くから行なわれたが、たまたま、その流動の機作の解明が試みられても、詳しい研究は余り見られなかった。然るに本研究においては、優れた独自の技術による観察と数理の実験とが重ねられて、問題の解決に貢献したことが甚だ多い。

本研究は神谷宣郎君及びその指導により、一九三七年以来行なわれた研究（約百二十編）の総括である。これは「原形質流動」及びそれに密接な関係がある「水分生理」の二部から成る。

一、原形質流動

本研究において取扱われた植物細胞の原形質流動は代表的の二型である。その一は、多くの植物で見られる廻転型であり、他の一は粘菌で見られる週期的の往復流動である。前者の研究はフラスモの節間単細胞を用いて行なわれた。

A フラスモ (*Nitella flexilis*) の廻転型流動

研究課題の主なる点は、流動の原動力及びそれが発生する原形質内の座についてである。神谷君独自の考案にかかると顕微鏡下遠心力装置を使用し、これによって、人為的流動停止に要する均衡加速度を測り、それをもって比較原動力の大きさとした。従来の考えによると、流動が起るためには、液胞、殊にそれと原形質との界即ちトノプラストの

関与が不可欠であるとして重要視されていた。然るに本研究においては、巧妙なる手術によって、人為的に無液胞の細胞を再生せしめることに成功し、これによってこの細胞内においても、原形質流動が長く続いて起ることを確認して、液胞の存在は流動に必要でないことが明らかにされた。

原形質流動の速度が測定された。管状細胞の側面からの顕微鏡観察により、横の深さに応じて、流速を測った。天然のままの細胞では、外層はゲルであつて不動であるが、流動するゾル状の内層は、一様に同じ方向へ向つて流動し、細胞周縁に沿うて廻転する。その流速は、いずれの部分においても等しい（二十ミュー、秒）。然し、原形質そのものの流速は、粘性を異にする液胞の存在によって影響されるから、前述の如き無液胞の細胞について、原形質流動速度を測ると、ゲル状の外層は不動であるが、それに接するゾル層部分は最大の流速を示す。それよりゾル層の内部に至るに従い、流速は漸減し、中軸部において、最小或は殆ど零となる。中軸部を越すと、流れの方向は逆となり、流速は細胞の反対側の外層に近づくに従つて増大し、外層の内壁に達するに及んで再び最大となる。中軸を通る縦断面における流速の分布を見ると、中軸を界とする対称的のS字曲線となつて表わされる。この流速の分布は周縁において、流動の原動力を生じ、それによつて内部のゾル層が、その粘性によつて受動的に動かされることを示す。従つて、流動を起す原動力の座は周縁のゲルとゾル層の外面との間にあるものと考えられる。このことは、流動性マージリンを使用して行なつたモデル実験によつても支持される。二つの異相、即ちゲルとゾルとの界面において、ミセル程度の現象として「ずれ」或は「すべり」が起り、これが流動の原動力を生ずると神谷君は説明した。

フラスモの細胞からゲル層を全くなくしたゾル裸状原形質塊を外部に取り出すと、それには流動は見られない。然

るにその表面の一部に、ゲル層の小部分が附着して残る時、それと原形質塊とは、接触面において互に反対方向にすべり運動をする。又ゲル層の一部が細い纖維となって流動しないゾル原形質塊内に含まれると、その纖維は一定の方向へ、すべる運動をする。これらのことは、ゲル部とゾル部との何れか可動なる相が動き、これに接する相手の相が停止する相対的の現象であることを示す。このことも、原形質流動を異相間の「ずれ」或は「すべり」として説明する支持を与える。ここにおいて、流動に密接な関係をもつ外層のゲルの性質についての研究が重要であることは当然であるが、すでに本研究においては、ゲル層の内面の構造についての研究が進められ、そこに纖維体が流動の方向に並列すること、又それに沿うて流動が起る可能性があることが明らかにされた。原動力を生ずる座としてゲル層とゾル層との界面に起る現象を一層明らかにすることが今後の重要な課題となる。

フラスモの原形質流動の原動力は次の式によって示されるとし、それを実験的に確めた。

$$F = A \cdot d(D_2 - D_1) \alpha \text{ ダイン/cm}^2$$

F 原動力、A 界面積、d ゼル層の厚さ、 D_2 、 D_1 各々ゾル層原形質及び液胞内液の比重、 α 流動停止に要する均衡加速度。実測によると原動力は約一、六ダイン/cm²であつて、殆どすべての細胞において、又天然の生育条件で一定である。手術により、液胞内の細胞液 (D_2) を取り出し、人工液 (D_1) と取りかえても、原動力に変化はない。温度を高めても、二十度Cに達するまでには流速に変化はないが、二十度を超えると大きくなる。この場合にも、原動力に変化があるものではなく、原形質の粘性の低下によることが明らかにされた。かくの如く、原形質流動の原動力が常に一定であることを決定し得たことは、今後、原動力発生機作についての研究に役立つことが多いと

いなければならない。

B 粘菌 (*Physarum polycephalum*) の原形質流動

この流動はフラスモの場合と異なり、週期的往復流動が繰り返される。神谷君は独自の考案にかかる複室法により流動を停止せしめるに要する均衡圧を測定し、これをもってその時点における菌体の圧とし、これによって始めて流動原動力を見出すことが出来た。流動が起る脈管部内の流速の分布について見ると、この流動は局部的圧差によって引き起されることが明らかにされた。即ち圧差の変動の時間的経過を示す波状曲線を数理的に解明することにより、菌体全部にわたる流動は原形質の局部によって週期的活動を異にする圧流（正弦形曲線で示される）の総合によって生ずることが明らかにされた。

流動の力源は物質代謝の化学エネルギーから来る。このことは流動に対してATPが重要なはたらきをなすことによつて知ることができる。一方では、粘菌が含有するATPの比較量を各種の条件下で測定して流動度との関係を見ると共に、生体に外部からATPを供与して、流動を盛ならしめることによつて、ATPが流動に対して重要なはたらきをなすことを知ることができた。

粘菌の原形質に筋アクトミオシンに近似の物質が含まれることはすでに知られているが、本研究においても、この収縮性蛋白質を分離して取出し、これを用いて原形質流動の説明に役立つ管中実験を行なった。それによると、この収縮性蛋白質は筋アクトミオシンと同様、ATPによつて超沈澱し、又ATPaseの活動も、筋肉の場合と質的によく一致する。更に菌体のグリセリン処理標本がATPにより局部的収縮をなすことを観察した。収縮性蛋白質につい

てのかくの如き管中実験、並びにこの物質から成ると考えられる纖維構造の電子顕微鏡観察により、それをもって粘菌の原形質流動の原動力発生の座とすることの可能性を明らかにした。他面、菌体の一部を実験的に硝子細管に入れると、糸状になった菌体の周縁はゲル化するがフラスモ細胞の周縁にあるゲル層とは異なり、これに接する内部のゾルには流動は見られず、従つてこの局部に原動力の座があるとは考えられない。又この糸状原形質体内の流動は、中軸部において最大であることから、この場合にも、この部分にある纖維のゲルと、それに接するゾルとの接界面の「ずれ」或は「すべり」によつて流動原動力が発生し、したがつてここに原動力の座があるとした。

神谷君の有名な初期の研究において見られた現象、即ち懸垂した粘菌の原形質糸状体が或程度の張力を保ちながら、週期的に左右に不均等な揺れを繰り返し、遂に一定方向に振れて、螺旋体として固定することも「ずれ」の考えを支持するものである。

粘菌原形質中にある収縮性蛋白質からなる纖維についての研究は、筋アクチオシンとの関係上、一般生理学上、重要な意味をもつといわなければならない。

フラスモと粘菌との原形質流動はその様相、その原動力発生の位置などにつき異なる点があるが、流動の発生に、共に纖維構造が関係することは重要なことである。但し、これら兩種植物の原形質に属する纖維を化学的に比較研究することは今後の重要な課題である。

粘菌の週期的流動圧の経過を自記せしめると共に、生体に発生する電気ポテンシャルをも併せて記録せしめると、両者は、ほぼ平行するが、後者のフェースが僅かに遅れる。酸素吸収（呼吸）と流動圧（原動力）とを同時に自記せ

しめると、酸素吸収は一定の度で進むが、流動圧曲線の波の振幅は絶えず変化して、両者の間に直接関係を見出し難い。この原形質流動は無氣的にもよく起る。右に述べた流動圧、電気ポテンシャル、酸素吸収、週期性等の相互の間にいかなる関係があるかについて次に述べる。

菌体を CO_2 によってゲル化せしめると、流動は停止する。この時、流動停止にもかかわらず、電気ポテンシャルは引続き前通りに現われ、その曲線のリズムは、 CO_2 処理前の形をそのまま続ける。又外部から種々の度の電圧を加えても、これによって正常な流動が促がされることはない。これらのことによつて、原形質流動の原動力発生のために局部的ポテンシャルの差が直接関係しないということが出来る。又酸素量を減じて、電氣的リズムの曲線に影響しない。流動と電位との間に関係があるとしても、それは間接的である。

CO_2 によつて原形質をゲル化せしめ、流動を停止させると原動圧の波状記録は起らない。これを再び CO_2 の少ない正常氣中に移すと、流動が回復し、流動圧の記録が再び始まる。然しその曲線が始まる位相は、流動が停止した時の点ではなく、流動停止中にも、圧のリズムが内部に維持されて胎動しつつあったと考えたリズムに従う位相に相当する。これによつて、流動の原動力の現われと、その内的リズムとは直接関係するものではないことを知ることが出来る。流動の原動力は原形質内に深く存在する内的リズム現象の総合から発し、これによつて、流動と共に、電気ポテンシャルも現われるということが出来る。

粘菌の一部を糸状にしたものの張力及び復屈折に関する神谷君の最近の研究は、神谷君の従来^の成果並びに作業学説をより確証することができた。

二、フラスモ細胞における水分生理

複室浸透容量計を用い、水が細胞に横断浸透する時間的経過を測定し、これによって細胞における水透過を数理的に解析し、従来主として行なわれた原形質分離法よりも一層適確に、水分透過の過程を明らかにすることができた。又細胞の内圧と容積との関係を直接求める方法を案出し、これによってフラスモ細胞の浸透図式を新たに示した。更に独自の方法によって、細胞がその浸透圧の自家調節をなす作用を明らかにし、それはイオンの吸収又は排出によって営まれることを知った。この自家調節作用におけるイオンの移動に対し、細胞内外の静電位及び光が関係する。

結語

神谷君の本研究は多年にわたる精密な観察と正確な実験の結果得られたデータに基づくものであって、高く評価されるべきことは内外の学者の認めるところである。これが生物学、殊に細胞生理学の未開の分野の開発に寄与したことは甚だ大きい。フラスモ及び粘菌の原形質流動問題はそれのみに限られたものではなく、生物全体にわたる流動現象及び生物流体内における微粒体の運動とも重要な関係をもつ。このことは、神谷君が、自家の研究の成果を講演するため、特に招かれて出席した種々の学会或はシンポジウムの中には、神谷君の所属分野以外に、国際流動学 (Rheology) 会議、米国生物物理学会、その他オクスフォード「細胞運動現象」シンポジウム等があることを以てしても知ることができらるであらう。

主要な著書及び論文目録

- 1) Kamuya, N.: Untersuchungen über die Wirkung des elektrischen Stromes auf lebende Zellen. I. Das

- Verhalten der mitotischen Figur unter der Wirkung des Gleichstromes. *Cytologia*, 1036-1042(1937).
- 2) ———: Über Doppelschalen bei *Meloidia*. *Archiv. f. Protistenk.*, 91, 324-342 (1938).
 - 3) ———: Zytomorphologische Plasmolysestudien an *Allium*-Epidermen. *Protoplasma*, 32, 373-396 (1939).
 - 4) Kamiya, N.: Die Rhythmik des metabolischen Formwechsels der Euglenen. *Ber. deut. bot. Ges.*, 57, 231-240 (1939).
 - 5) ———: Beiträge zur Pathologie der Zellteilung und Querwandbildung. *Protoplasma*, 33, 427-439 (1939).
 - 6) ———: Parasiten in Oscillatoriaceen. (Beiträge zur Pathologie der Cyanophyceenzelle.) *Archiv. f. Protistenk.*, 94, 201-211 (1940).
 - 7) Seifriz, W., and N. Kamiya: Theoretical and experimental studies on protoplasmic streaming. *Science*, 92, 416 (1940).
 - 8) Kamiya, N.: The control of protoplasmic streaming. *Science*, 92, 462-463 (1940).
 - 9) ———: Physical aspects of protoplasmic streaming. The structure of protoplasm (ed. by Seifriz). *Monogr. Amer. Soc. Plant Physiologists* (Ames, Iowa), 199-244 (1942).
 - 10) ———: 原形質の物理的特性' 植物学雑誌 五十六' 五五五—五五七 (一九四二)
 - 11) ———: 原形質流動の原動力' (I)' (II)' (III)' 科学 一三六' 三五二—三五四' 三九〇—三九五' 三三三—三三四〇 (一九四三)
 - 12) ———: 体積計量法による原形質流動の研究' 植物学雑誌 五八' 八七一—八九 (一九四四)
 - 13) ———: The rate of the protoplasmic flow in the myxomycete plasmodium. I. *Cytologia*, 15, 183-193 (1950).
 - 14) ———: The rate of the protoplasmic flow in the myxomycete plasmodium. II. *Cytologia*, 15, 194-204 (1950).
 - 15) Kamiya, N.: The protoplasmic flow in the myxomycete plasmodium as revealed by a volumetric analysis. *Protoplasma*, 39, 344-357 (1950).
 - 16) Kamiya, N., and S. Abe: Bioelectric phenomena in the myxomycete plasmodium and their relation to

protoplasmic flow. *J. Colloid Sci.*, **5**, 149-163 (1950).

- 17) Tasaki, I., and N. Kamiya: Electrical response of a slime mould to mechanical and electrical stimuli. *Protoplasma*, **39**, 333-343 (1950).
- 18) Kamiya, N.: 原形質の物理化学' 生理学講座 1' 1-131' 中山書店 (一九五二)
- 19) —: The motive force responsible for protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. *Ann. Rep. Sci. Works, Fac. Sci., Osaka Univ.*, **1**, 55-83 (1953).
- 20) —: 原形質の収縮性' 原形質のシミュレーション' 原形質運動と現われた螺旋性' 細胞 (日本細胞化学会編) 四 一一五八 丸善 (一九五三)
- 21) Kamiya, N., and W. Seifriz: Torsion in a protoplasmic thread. *Exp. Cell Res.*, **6**, 1-16 (1954).
- 22) Kamiya, N., H. Nakajima, and S. Abe: 原形質運動の生理学的研究' 生体の化学 五' 一四八-一五七 (一九五四)
- 23) Kamiya, N., and H. Nakajima: Some aspects of rhythmicity of the protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. *Jap. J. Bot.*, **15**, 49-55 (1955).
- 24) Kamiya, N.: 原形質運動の化学' 生命現象の化学 (青田' 江上' 吉川編) 二二一-六〇 朝倉書店 (一九五五)
- 25) Kamiya, N.: 原形質流動' 一般生理学 (本川' 奥貫' 富田編) 二五九-二六五 朝倉書店 (一九五六)
- 26) Kamiya, N., and M. Tazawa: Studies on water permeability of a single plant cell by means of trans-cellular osmosis. *Protoplasma*, **46**, 394-422 (1956).
- 27) Kamiya, N., and K. Kuroda: Artificial modification of the osmotic pressure of the plant cell. *Protoplasma*, **46**, 423-436 (1956).
- 28) —: Velocity distribution of the protoplasmic streaming in *Nitella* cells. *Bot. Mag. (Tokyo)*, **69**, 544-554 (1956).
- 29) Kamiya, N.: 原形質流動の物理化学' 生体物理化学シンポジウム 二' 一二五-一三九 (一九五七)

- 30) Kamiya, N., and K. Kuroda : Cell operation in *Nitella*. I. Cell amputation and effusion of the endoplasm. Proc. Japan Acad., 33, 149-152 (1957).
- 31) Kamiya, N., H. Nakajima, and S. Abe : Physiology of the motive force of protoplasmic streaming. Protoplasma, 48, 94-112 (1957).
- 32) Kamiya, N., and K. Kuroda : Cell operation in *Nitella*. II. Behaviour of isolated endoplasm. Proc. Japan Acad., 33, 201-205 (1957).
- 33) Kamiya, N., S. Abe, and H. Nakajima : Simultaneous measurement of respiration and the motive force of protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. I. Outline of the method. Proc. Japan Acad., 33, 206-210 (1957).
- 34) Kamiya, N., and K. Kuroda : Cell operation in *Nitella*. III. Specific gravity of the cell sap and endoplasm. Proc. Japan Acad., 33, 403-406 (1957).
- 35) Kamiya, N., S. Abe, and H. Nakajima : Simultaneous measurement of respiration and the motive force of protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. II. The effect of cyanide. Proc. Japan Acad., 33, 407-409 (1957).
- 36) Kamiya, N., and N. Nakajima : 細胞の基本的要素・原形質 現代生物学講座 11' 119-161 共立出版 (一九五七)
- 37) Kamiya, N. : 細胞質の運動性 細胞 第二集 (日本細胞化学会編) 139-161 丸善 (一九五八)
- 38) Kamiya, N., and K. Kuroda : Studies on the velocity distribution of the Protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. Protoplasma, 49, 1-4 (1958).
- 39) ——— : Cell operation in *Nitella*. IV. Tension at the surface of the effused endoplasmic drops. Proc. Japan Acad., 34, 435-438 (1958).
- 40) Kamiya, N., S. Abe, and H. Nakajima : Simultaneous measurement of respiration and the motive force

- of protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. III. The effect of oxygen tension. Proc. Japan Acad., **34**, 530-533 (1958).
- 41) Kamiya, N., and K. Kuroda: Measurement of the motive force of the protoplasmic rotation in *Nitzella*. Protoplasma, **50**, 144-148 (1958).
- 42) —: Protoplasmic streaming. Protoplasmatologia, VIII/3/a. Springer-Verlag, Wien, p. 199 (1959).
- 43) —: 植物細胞の「手術」科学 二九' 一九一一—一九五(一九五九)
- 44) —: 細菌の原形質・蛋白質・核酸・酵素 四' 一七七一—一八五(一九五九)
- 45) Kamiya, N., M. Tazawa, K. Kuroda, and R. Nagai: Self-control of the osmotic pressure in the plant cell. Proc. IX International Bot. Congress, Montreal, 185-186 (1959).
- 46) Abe, S., H. Nakajima, and N. Kamiya: Simultaneous measurement of respiration and the motive force of protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. IV. The effect of monoiodoacetic acid. Proc. Japan Acad., **34**, 697-699 (1959).
- 47) —: Simultaneous measurement of respiration and the motive force of protoplasmic streaming in the myxomycete plasmodium. V. The effect of carbon monoxide. Proc. Japan Acad., **35**, 603-606 (1959).
- 48) Kamiya, N.: Physics and chemistry of protoplasmic streaming. Ann. Rev. Plant Physiol., **11**, 323-341 (1960).
- 49) —: Protoplasmic streaming. Ann. Rep. Sci. Works, Fac. Sci., Osaka Univ., **8**, 13-41 (1960).
- 50) —: Protoplasmaströmung. Protoplasma, **53**, 53-83 (1961).
- 51) —: Protoplasmic streaming. Rec. Adv. Bot., Section II, 993-996 (1961).
- 52) —: 原形質流動の力学 蛋白質・核酸・酵素 七' 七四一—八四(一九六二)
- 53) Kamiya, N., M. Tazawa, and T. Takata: Water permeability of the cell wall in *Nitzella*. Plant and Cell Physiol., **3**, 285-292 (1962).

- 54) Kamiya, N., and K. Kuroda: 原形質の流動 東京大学応用微生物研究所 シンポジウム 三 一七九—一九三 (一九六二)
- 55) Kamiya, N.: Protoplasmic streaming. Handb. d. Pflanzenphysiol., 17/2, 979-1035 (1962).
- 56) Kamiya, N., M. Tazawa, and T. Takata: The relation of turgor pressure to cell volume in *Nitella* with special reference to mechanical properties of the cell wall. *Protoplasma*, 57, 501-521 (1963).
- 57) Kamiya, N.: The motive force of endoplasmic streaming in the amoeba. Primitive motile systems in cell biology (Ed. by R. Allen and N. Kamiya), 257-277. Academic Press, New York & London (1964).
- 58) Tasaki, I., and N. Kamiya: A study on electrophysiological properties of carnivorous amoebae. J. of Cellular & Comparative Physiol., 63, 365-380 (1964).
- 59) Kamiya, N.: 異型細胞の機械的性質 (田畑・菊沢編) 一四一—一六一 植物細胞 (一九六四)
- 60) Kamiya, N., and K. Kuroda: Mechanical impact as a means of attacking structural organization in living cells. Ann. Rep. Sci. Works, Fac. Sci., Osaka Univ., 12, 83-97 (1964).
- 61) Kamiya, N.: Rheology of cytoplasmic streaming. Proc. Fourth International Congress on Rheology, Part 1, John Wiley & Sons, 105-121 (1965).
- 62) Kamiya, N., and K. Kuroda: Rotational protoplasmic streaming in *Nitella* and some physical properties of the endoplasm. Proc. Fourth International Congress on Rheology, Part 4, Symposium on Bio-rheology, John Wiley & Sons, 157-171 (1965).
- 63) Kamiya, N., and K. Kuroda: Movement of the myxomycete plasmodium. I. A study of glycerinated models. Proc. Japan Acad., 41, 837-841 (1965).
- 64) Tazawa, M., and N. Kamiya: Water relations of Characean internodal cell. Ann. Rep. Biol. Works, Fac. Sci., Osaka Univ., 13, 123-157 (1965).

- 65) —: Water permeability of a Characean internodal cell with special reference to its polarity. *Aust. J. Biol. Sci.*, **19**, 399-419 (1966).
- 66) Kamiya, N.: 細胞質運動の観察とその意義 (1966) 11 (生体と環境) 111-114 泉鏡書局 (1966)
- 67) —: Motilität des Plasmas. Die Zelle (Herausgegeben von H. Metzner), 329-553. Wissenschaftliche Verlagsges., Stuttgart (1966).
- 68) —: Motilität des Plasmas der lebenden Zelle. *Naturwissenschaften*, Rundschau, **19**, 270-282 (1966).
- 69) Kamiya, N., and K. Kuroda: Some observations of protoplasmic streaming in *Acetabularia*. *Bot. Mag. Tokyo*, **79**, 706-713 (1966).
- 70) Kamiya, N., and M. Tazawa: Surgical operations on Characean cells with special reference to cytoplasmic streaming. *Ann. Rep. Biol. Works, Fac. Sci., Osaka Univ.*, **14**, 95-106 (1966).
- 71) Kamiya, N., S. Abe, and H. Nakajima: A method for simultaneous measurement of respiration and the motive force of the streaming in myxomycete plasmodia. A supplementary note. *Ann. Rep. Biol. Works, Fac. Sci., Osaka Univ.*, **14**, 155-164 (1966).
- 72) Takata, T., R. Nagai, and N. Kamiya: Movement of the myxomycete plasmodium. III. Artificial polarization in endoplasm distribution in a plasmodium and its bearing on protoplasmic streaming. *Proc. Japan Acad.*, **43**, 44-50 (1967).
- 73) Kamiya, N., and M. Yoneda: Movement of the myxomycete plasmodium. IV. Dislocation of endoplasm and its effect on motive force production. *Proc. Japan Acad.*, **43**, 531-536 (1967).
- 74) Kamiya, N., and T. Takata: Movement of the myxomycete plasmodium. V. The motive force of endoplasm-rich and endoplasm-poor plasmodia. *Proc. Japan Acad.*, **43**, 537-540 (1967).
- 75) Kamiya, N.: 原形質運動の細胞生物学 (中原 藤井 三浦編) 朝倉書店 五四-171 (1967)
- 76) —: The mechanism of cytoplasmic movement in a myxomycete plasmodium. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, **22**

(Aspects of Cell Motility), 199-214 (1968).

- 77) —— 遠心処理、統生物物理講座 一〇 吉岡書店 (未印刷)
 - 78) —— 植物細胞実験技術、統生物物理学講座 一〇 吉岡書店 (未印刷)
 - 79) —— 原形質流動、統生物物理学講座 一一 吉岡書店 (未印刷)
 - 80) —— : Contractile properties of the plasmodial strand. Proc. Japan Acad., 46, 1026-1031 (1970).
- 以上の他、神谷君の指導の下で行なわれた研究論文四一編は省略する。