筋肉蛋白質の代謝回転*

船 引 竜 平 (岩手大学農学部農芸化学科)

窒素出納法により、蛋白必要量を決定する理論的背景に、内因性窒素代謝の概念がある。蛋白摂取レベルに無関係な尿酸排泄の恒常性は、赤血球形成速度の恒常性の反映であり、またそれは、血液中における赤血球数の不変性を通して、崩壊速度の恒常性とも関連する。赤血球は、一定の寿命を有し、ヘモグロビンはその間安定で、赤血球の崩壊と同時に分解することが知られている。量的に内因性窒素の主要な源泉と考えられている筋肉蛋白が、ヘモグロビンのごとく、できてから一定時間経過後分解する代謝回転型式に属するか、または、血清アルブミンのごとく、できてからの時間に無関係に分解する代謝回転型式に属するかを追求することは、仮りに、蛋白摂取レベルに無関係なヘモグロビンの分解速度の恒常性が、その代謝回転型式に由来するものであると考える場合には、内因性窒素代謝の恒常性に関する問題への体内代謝の側からの接近方法の一つであると考えられる。

骨格筋蛋白は、便宜的に、サルコプラスム蛋白、顆粒蛋白、筋原繊維蛋白、コラーゲン性蛋白に分けられる。筋原繊維蛋白は、ミオシン、アクチン、トロポミオシンなどの蛋白より成り、筋肉蛋白全体の約半分を占めている。Neuberger⁽¹⁾ は、ミオシン、アクチンのような構造蛋白は、ヘモグロビン型の代謝回転型式をとるものと予想した。Dreyfus ら⁽²⁾ は、 C^{14} -グリシンを白ネズミに 1 回注射後のミオシンの比放射能の経時的変化の型から、ミオシンはヘモグロビン型の代謝回転型式に近似し、30 日の寿命を持つと結論した。Schapira ら⁽³⁾ は、同様な実験により、筋肉アルドラーゼは血清アルブミン型の代謝回転型式に属すると述べている。本研究では、筋肉蛋白の各分画の代謝回転型式の決定と、代謝回転率の測定が目的とされたのであるが、筋肉構造蛋白の一つ

であるアクチンの代謝回転型式の追求に重点が置かれた。

定常状態にある開放系の水槽に、ラベルを 1 回投与した場合と、継続的に投与した場合の水槽中のラベル濃度の経時変化のパターンを代謝回転のモデルとした。そして、20% カゼイン飼料飼育のウイスター系雄または雌の成熟白ネズミへの DL-フェニルアラニン- $3-C^{14}$ の 1 回注射、DL-フェニルアラニン- $3-C^{14}$ 1 回注射後非ラベルクロシンの投与、DL-クロシンの 1 回注射、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 55 日間の継続投与、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 12 日間の継続投与、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 8 日間の継続投与後 20 日間投与停止、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 1 回注射などの場合における筋肉蛋白分画の比放射能の経時変化のパターンを設定したモデル系と対比して適合性のよさを検討した。その結果、アクチンの代謝回転型式は、Neuberger の予想と異なり、ヘモグロビン型に属せず、できてからの時間に無関係に分解していることが明らかにされた。以下、行なわれた動物実験の順序に従いながら、上記の結論を得るに到った道筋を、主な実験結果とその考察の面から述べる。

1. モデル系

設定したモデル系は、常時一定量で同量の給水と排水が同時に行なわれ、いったん排出されたものの帰還回路のない、水位が一定で、一定の大きさを持ち、攪拌される場合は完全な攪拌が行なわれ、無攪拌の場合は拡散も対流も起こらない、理想状態を仮定した場合の水槽の組合せから成る。すなわち、攪拌単一水槽(第 1 図)、無攪拌単一水槽(第 2 図)、攪拌複合水槽(第 3 図)、攪拌無攪拌複合水槽(第 4 図)の 4 種で、これらの水槽に、トレーサー量のラベルが、1 回瞬間的に投与される場合と、継続的に投与される場合が取扱われている。攪拌水槽は、できてからの時間に無関係に分解する血清アルブミン型の代謝回転型式に類比され、無攪拌水槽は、でき

* Studies on the Metabolic Turnover of Muscle Proteins.

By Ryūhei FUNABIKI, Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Iwate University.

第1図(A) 攪拌単一水槽
のモデル 第1図(B) 攪拌単一水槽にラ
ベルを1回投与した場合の
ラベル濃度の経時的変化 第1図(C) 攪拌単一水槽にラ
ベルを継続投与した場合の
ラベル濃度の経時的変化 第2図(A) 無攪拌単一水槽
のモデル 第2図(B) 無攪拌単一水槽に
ラベルを1回投与した場
合のラベル濃度の経時的
変化 第2図(C) 無攪拌単一水槽に
ラベルを継続投与した場
合のラベル濃度の経時的
変化 第3図(A) 攪拌複合水槽
のモデル 第3図(B) 攪拌複合水槽の上
槽にラベルを1回投与し
た場合の上槽および下槽
のラベル濃度の経時的変
化

$$\text{上槽: } I = I_0 e^{-K_1 t}$$

$$\text{下槽: } I = \frac{K_2}{K_2 - K_1} I_0 (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t})$$

$$\text{極大値: } t_{\max} = \frac{\ln K_1 - \ln K_2}{K_1 - K_2}$$

第3図(C) 攪拌複合水槽の上
槽にラベルを継続投与し
た場合の上槽および下槽
のラベル濃度の経時的変
化

$$\text{上槽: } I = I_0 (1 - e^{-K_1 t})$$

$$\text{下槽: } I = I_0 \left(1 - \frac{K_2}{K_2 - K_1} e^{-K_1 t} - \frac{K_1}{K_1 - K_2} e^{-K_2 t} \right)$$

第 4 図 (A) 攪拌無攪拌複合水槽のモデル

第 4 図 (B) 攪拌無攪拌複合水槽の上槽にラベルを 1 回投与した場合の上槽および下槽のラベル濃度の経時的変化

$$\text{上槽: } I = I_0 e^{-K_1 t}$$

$$\text{下槽: } I = \frac{K_2}{K_1} I_0 (1 - e^{-K_1 t})$$

: $t < P_2/R$ の場合

第 4 図 (C) 攪拌無攪拌複合水槽の上槽にラベルを継続的に投与した場合の上槽および下槽のラベル濃度の経時的変化

$$\text{上槽: } I = I_0 (1 - e^{-K_1 t})$$

$$\text{下槽: } I = I_0 K_2 \{ t + 1/K_1 (e^{-K_1 t} - 1) \}$$

: $t < P_2/R$ の場合

$$I = I_0 K_2 \left\{ 1/K_1 + (1 - e^{-K_1 t}) \frac{e^{-K_1 t}}{K_1} \right\}$$

: $t > P_2/R$ の場合

てから一定時間経過後分解するヘモグロビン型の代謝回転式に類比される。第 1 表に、本説に用いられた水槽および代謝回転に関する術語とその記号との関係を示す。

2. C^{14} -フェニルアラニン 1 回注射の場合⁽⁴⁾

炭酸バリウム- C^{14} より合成した DL-フェニルアラニン-3- C^{14} を腹腔内に注射後、肝臓および筋肉の遊離のフェニルアラニン (Phe) とチロシン (Tyr), 筋肉蛋白分画の Phe および Tyr の比放射能を 20 日間に亘って経時的に測定した。その結果、筋肉蛋白分画の比放射能-時間曲線 (第 5 図) は、注射後 1 日目に極大点を有する型、5 日目に極大点を有する型、極大点の見られない型

第 1 表 水槽のモデルと代謝回転系における記号とその関係

水 槽	生 体	記 号	関 係	次 元
水 量	生 体 物 質 量	P		MT^0
流 量	代謝回転量率	R		MT^{-1}
流 率	代謝回転率	K	$K = \frac{R}{P}$	$M^0 T^{-1}$
循環時間	平均寿命 (寿命*)	T_T (L_S^*)	$T_T = L_S = \frac{P}{R}$	$M^0 T$
半減期	代謝半減期	$t_{1/2}$	$t_{1/2} = \frac{0.69}{K}$	$M^0 T$
ラベル濃度	比放射能	I		
ラベル初濃度		I_0		

* ヘモグロビン型の代謝回転式の場合。

第 5 図 DL-フェニルアラニン-3- C^{14} 1 回注射後の筋原繊維蛋白 (O), サルコプラズマ蛋白 (Δ), 筋肉コラーゲン (●) のフェニルアラニンの比放射能の経時的変化

の 3 型があり、それぞれサルコプラズマ蛋白、筋原繊維蛋白、コラーゲン性蛋白がそれらに相当することが認められた。ミオシン、アクチンの比放射能-時間曲線は第 2 の型に近似した。第 1 の型は、モデル系では第 1 図 (B) に、第 2 の型は第 3 図 (B) の下槽に、第 3 の型は第 2 図 (B) にそれぞれ適合するようにみられる。第 3 図 (B) の上槽に相当するものとして、第 2 の型においては筋肉の遊離アミノ酸を仮定した。

第 6 図に示されるごとく、筋肉遊離アミノ酸の比放射能は、肝臓遊離アミノ酸のそれとは異なる値をとり、ま

第 6 図 DL-フェニルアラニン-3- C^{14} 1 回注射後の筋肉の遊離フェニルアラニン(○), 遊離チロシン(●), 肝臓の遊離フェニルアラニン(△), 遊離チロシン(▲)の比放射能の経時的变化

た注射後 5 時間目から曲線の傾斜は緩徐になっている。これらの結果は、筋肉と肝臓は、その遊離アミノ酸プールが異なること、筋肉の遊離アミノ酸プールも均一でなく“Compartment”をなしていること、また筋原繊維蛋白の前駆体として筋肉遊離アミノ酸を仮定することなどと矛盾しない。

3. C^{14} -フェニルアラニン注射後非ラベルチロシン投与の場合⁽⁵⁾

Dreyfus ら⁽²⁾は、 C^{14} -グリシンを白ネズミに 1 回注射した場合の筋原繊維蛋白の比放射能-時間曲線が、注射後 30 日近傍に不連続的变化を有することを認めた。アクチンの比放射能-時間曲線が 30 日近傍に不連続的变化を持つか否かを調べるため、 C^{14} -Phe 注射後、45 日間に亘り、5 日間隔で、アクチンの Phe と Tyr の比放射能を測定した。一般に比放射能-時間曲線の形は、ラベルアミノ酸の再利用により影響をうけることが認められている。この影響を軽減する目的で、注射後 10 日目から非ラベル Tyr を飼料に添加した。アクチンの Phe と Tyr の比放射能-時間曲線(第 7 図)に不連続点があるとみる場合、その位置が Phe と Tyr で異なることは、ヘモグロビン型の代謝回転型式を有することとは相容れず、第 7 図は第 3 図(B)の下槽に対応するものと考えられ

第 7 図 DL-フェニルアラニン-3- C^{14} 1 回注射後のアクチンのフェニルアラニン(○)およびチロシン(●)の比放射能の経時的变化

注射後 10 日より 15 日まで基本飼料に L-チロシン 3% 添加, 15 日より 30 日まで 6% 添加, 30 日より 45 日まで 9% 添加。実線は曲線がピークを有する場合, 点線は曲線がプラトーを有する不連続的变化を示すとする場合。

る。第 3 図(B)の下槽の極大点の位置は、上槽と下槽の K の大きさにより定まる。このことから、第 6 図にみられる筋肉遊離 Phe と Tyr の比放射能の時間経過より、アクチンの Tyr が Phe より遅れて極大点に達することが理解される。

4. C^{14} -チロシン 1 回注射の場合⁽⁶⁾

直接 C^{14} -Tyr を注射した場合の、アクチンの Tyr の比放射能-時間曲線(第 8 図)の時間軸上の極大点の位置は、 C^{14} -Phe を注射した場合のアクチン中の Tyr よりむしろ Phe に近似した位置にある。直接 C^{14} -Tyr を注射した場合の遊離 Tyr の比放射能の経時的变化は、体内で C^{14} -Phe より生ずる遊離 Tyr の比放射能の経時的变化よりその K 値は大なることが推定されるところから、極大値の位置についての説明が与えられる。以上のことから、第 8 図は、第 3 図(B)の下槽に適合すると考えられる。また、直接注射した C^{14} -Tyr は、 C^{14} -Phe 注射の場合の C^{14} -Phe と同程度にミオシンに取込まれた。なおミオシン中の C^{14} -Tyr の比放射能-時間曲線(第 9 図)も、第 3 図(B)の下槽に最もよく適合した。このことは、ミオシン中の Tyr は、いったんミオシンに取込まれた Phe が、ミオシンより離れて、“General pool”と混じらないある特殊な“Local pool”で Tyr に変換したものに由来するという Schapira ら⁽⁷⁾の説に支持を与えるものではない。

第 8 図 DL-チロシン-2- C^{14} 1 回注射後のアクチン中のチロシンの比放射能の経時的変化
丸印は 2 頭のネズミよりの 4 点の放射能測定値の平均値を示し、縦線は測定値の範囲を示す。

第 9 図 DL-チロシン-2- C^{14} 1 回注射後のミオシン中のチロシンの比放射能の経時的変化
丸印は 2 頭のネズミよりの 4 点の放射能測定値の平均値を示し、縦線は測定値の範囲を示す。

5. C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物 55 日間継続投与の場合⁽⁸⁾

C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の一定量を、毎日一定時刻に、一定量の飼料に 55 日間添加し、その間に、肝臓蛋白、全筋肉蛋白、筋肉蛋白分画の比放射能を、7, 8, 10 日の間隔で経時的に測定した。第 10 図、第 11 図にその結果を示す。肝臓蛋白、サルコプラスム硫安半飽和沈殿分画、サルコプラスム硫安半飽和上澄分画を、第 1 図 (C) に適合するものとして代謝半減期を求めると、5 日、6.5 日、10 日と算定された。各蛋白の比放射能の最終到達値は、同一の前駆体を有するものであれば等しくなるはずであるが、全筋肉蛋白の比放射能を 1 とした場合に、肝臓蛋白 1.8, サルコプラスム硫安半飽和沈殿分画 1.4, サルコプラスム硫安半飽和上澄分画 1.1, ミオシ

第 10 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与による肝臓蛋白 (O), 筋肉蛋白 (●) の比放射能の経時的変化

丸印は 2 頭のネズミよりの 4 点の放射能測定値の平均値を示し、縦線は測定値の範囲を示す。点線は比放射能の最終到達値を示す。

第 11 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与によるサルコプラスム硫安半飽和沈殿分画 (▲), サルコプラスム硫安半飽和上澄分画 (△), ミオシン (○), アクチン (●), 筋肉コラーゲン (×) の比放射能の経時的変化

印は 2 頭のネズミよりの 4 点の放射能測定値の平均値を示し、縦線は測定値の範囲を示す。点線は比放射能の最終到達値を示す。

ン、アクチン 0.9, 筋肉コラーゲン性蛋白 0.5 であった。最終到達値の大小が、ラベルされている食餌アミノ

酸とラベルされていない内因性アミノ酸の流れの大きさの割合から定まるものと仮定すると、最終到達値の大きいものほど、直接食餌蛋白からの合成割合が大きいことになる。代謝回転率および最終到達値が共に大きいサルコプラスム硫安半飽和沈殿分画が、筋肉蛋白中では、最も貯蔵蛋白的性質が大きいものと推定される。神立ら⁽⁹⁾により、白ネズミの無蛋白飼育で、筋肉蛋白中のトリプトファン含量が、他のアミノ酸よりも大きく減少することが認められている。このことは、筋肉蛋白中の、とくにトリプトファン含量の高い蛋白分画の減少の結果によると解釈することもできるが、サルコプラスム硫安半飽和沈殿分画のトリプトファン含量が、全筋肉蛋白の1.4倍であることは、上述の推定と符合するものである。ミオシンおよびアクチンは、25日目に最終到達値に達したが、測定値の振れが大きく、モデル系の中で、第1図(C)、第2図(C)、第3図(C)の下槽、第4図(C)の下槽のいずれの型に適合するか不明確であった。

6. C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物 12日間継続投与の場合⁽¹⁰⁾

アクチンの代謝回転型式が、どのモデルに最もよく適合するかを明らかにするため、前実験より測定間隔を狭くとり、実験中の体重増加を抑えるため、成雌鼠を用い、また1日1頭当り11gの制限給与を行なった。仮り

第12図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与によるアクチンの比放射能の経時的変化
丸印は4頭のネズミよりの8点の放射能測定値の平均値を示し、縦線は測定値の範囲を示す。

に、第2図(C)に属するとすれば、折れ曲り点が平均値のまわりに或る幅をもって分布することを考慮しその影響を避けるため、比較的短期間の実験を行なった。その結果は第12図に示される。すなわち、明らかに第2図(C)には適合せず、第1図(C)に最もよく適合するようにみえる。しかし、1回投与の場合、アクチンは第3図(B)の下槽が適合モデルであるので、継続投与の場合は、第3図(C)の下槽のパターンが期待されるのであるが、本実験からは、その点明らかではない。なお第12図の第4図(C)の下槽に対する適合性は、曲線の形、1回投与の結果などよりみて低いと考えられる。

7. C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物 8日間継続投与後、20日間投与停止の場合⁽¹¹⁾

継続投与を途中で停止し、その後の比放射能の変化を測定した場合、仮りにアクチンの代謝回転型に類比されるモデルが、第1図(A)のモデルであれば、投与停止後は第1図(B)のパターンに従って減少することが予想され、また仮りに、第3図(A)のモデルに類比されるのであれば、投与停止後は、第3図(B)の下槽の極大点以後のパターンを示すことが予想される。そこで、アクチンと、その比較対照として、グロビンおよび血清アルブミン、サルコプラスム硫安半飽和沈殿分画について、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物 8日間継続投与後、20日間投与を停止した場合の比放射能の変化を測定した。血清アルブミン(第13図)についてみると、ラベル投与停止後の比放射能の経時的変化より求めた代謝回転率と継続投与期間中の上昇部より求めた代謝回転率とはほぼ一致した。それ故血清アルブミンは、第1図(A)のモデルに類比できることが結論される。グロビン(第14図)についてみると、継続投与群では、28日間比放射能の直線的増加がみられた。これは第2図(C)に適合する。ラベル投与停止群では、その後8日間比放射能の増加がみられ、それ以後一定値となった。このことは、グロビンが、その寿命の間分解せず、また、ラベル投与停止後も、ラベルを他から供給されたことを示すと考えられる。アクチン(第15図)の上昇部のパターンは第2図(C)とは明らかに異なり、また第1図(C)にもよく適合せず、第3図(C)の下槽に近似する。ラベル投与停止期間中の比放射能の経時的変化は、第1図(B)よりも第3図(B)の下槽の極大点以後のパターンに近似する。また、寿命期間中崩壊しないことの確認されているグロビンのラベル投与停止群で、比放射能の上昇がみら

第 13 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与群の血清アルブミンの比放射能(○)および 8 日間継続投与後 20 日間ラベル投与停止群の血清アルブミンの比放射能(●)の経時的变化

丸印は 4, 8, 12, 16 日目については 4 頭のネズミよりの 8 点の放射能測定値の平均値、縦線は測定値の範囲を示す。24, 28 日目については 2 頭のネズミについての測定値を示す。点線は比放射能の最終到達値を示す。

第 14 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与群のグロブリンの比放射能(○)および 8 日間継続投与後 20 日間ラベル投与停止群の比放射能(●)の経時的变化

丸印は 4, 8, 12, 16 日目については 4 頭のネズミよりの 8 点の放射能測定値の平均値、縦線は測定値の範囲を示す。24, 28 日目については 2 頭のネズミについての測定値を示す。

第 15 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与群のアクチンの比放射能(○)および 8 日間継続投与後、20 日間ラベル投与停止群のアクチンの比放射能(●)の経時的变化

丸印は 4, 8, 12, 16 日目については 4 頭のネズミよりの 8 点の放射能測定値の平均値、縦線は測定値の範囲を示す。24, 28 日目については 2 頭のネズミについての測定値を示す。

第 16 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の継続投与群のサルコプラズム硫安半飽和沈殿分画の比放射能(○)および 8 日間継続投与後 20 日間ラベル投与停止群のサルコプラズム硫安半飽和沈殿分画の比放射能(●)の経時的变化

丸印は 4, 8, 12, 16 日目については 4 頭のネズミよりの 8 点の放射能測定値の平均値、縦線は測定値の範囲を示す。24, 28 日目については 2 頭のネズミについての測定値を示す。

れるところから、ラベル投与停止期間中にアクチンの比放射能の減少がみられないことは、その間分解しないことを示すのではなく、むしろ分解した結果と解釈することも可能である。サルコプラズム硫安半飽和沈殿分画(第 16 図)では、ラベル投与停止後、時間軸に対し凸形の比放射能の変化がみられ、基本的には第 1 図(A)に類比されるものと考えられるが、第 1 図のモデルに属するものとして、上昇部と下降部の両方から代謝回転率を算出したところ一致せず、血清アルブミンよりは、第 1 図のモデルに対する適合性はよくないことが知られた。

8. C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物 1 回注射の場合⁽¹²⁾

ラベルアミノ酸として、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物を継続投与した場合も、アクチンの代謝回転型式のモデル

として、第 3 図 (C) の下槽の適合性が高かったが、さらに確認するため、 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 1 回投与を行なった。比較対照のため、アクチンと共にグロビンおよび血清アルブミンの比放射能も測定した。第 17 図に示されるごとく、アクチンの比放射能-時間曲線は、第 3 図 (B) の下槽に適合した。なお、グロビンが第 4 図 (B) の下槽に適合するとするならば、継続投与の場合は、第 2 図 (C) より、第 4 図 (C) の下槽に適合すべきであるが、その結果は曲線性が判然とせず、直線近似により第 2 図 (C) 型に類比された可能性もある。

第 17 図 C^{14} -クロレラ蛋白酸水解物の 1 回注射後のグロビン (O), アクチン (Δ), 血清アルブミン (x) の比放射能の経時的变化

印は 15, 35 日目については 4 頭のネズミよりの 8 点の放射能測定値の平均値、縦線は測定値の範囲を示す。1, 5, 10, 20, 25, 45, 55 日目については 2 頭のネズミについての測定値を示す。

9. おわりに

血清アルブミンの代謝回転が、攪拌単一水槽のモデル〔第 1 図 (A)〕に類比できるのと同程度の近似性において、アクチンの代謝回転は、ここに設定したモデル系の中では攪拌複合水槽〔第 3 図 (A)〕にほぼ類比できるものと考えられる。すなわち、Neuberger の予想と異な

り、アクチンはできてから一定時間経過後分解するヘモグロビン型の代謝回転型式に属さず、できてからの時間に無関係に分解していることが、以上の実験により初めて明らかにされた。なお、ミオシンが、アクチンと同様な代謝回転型式に属することは充分推定されるところである。このように筋肉の主要構造蛋白の一つであるアクチンが、“random manner”の代謝回転型式に属することは、内因性窒素代謝の本質的恒常性と相容れる概念ではない。アクチンの代謝回転率については、アクチンの代謝回転のモデルが血清アルブミンのそれと異なるので、従来一般に、血清アルブミン、肝臓蛋白などの代謝回転率の算定に用いられてきた方法をそのままアクチンなど筋肉蛋白分画の代謝回転率の算定に用いることは不適当である。アクチンの代謝回転率は、前駆体の代謝回転率、アクチンの比放射能-時間曲線の極大点、変曲点の位置などより算定され得るものと考えられる。この点については現在実験中である。さらに実際に蛋白摂取レベルを変えた場合のアクチンの代謝回転については、将来、非定常状態のモデル系についての研究と相まって追求されるものと考えられる。

終りに、本研究のテーマを与えられ、また、適切な御指導を賜った東京大学農学部 神立 誠教授に感謝する。

- (1) A. Neuberger : *Brit. Med. Bull.*, 8, 210 (1952).
- (2) J. C. Dreyfus, J. Kruh, G. Schapira : *Biochem. J.*, 75, 574 (1960).
- (3) G. Schapira, J. Kruh, J. C. Dreyfus, F. Schapira : *J. Biol. Chem.*, 235, 1738 (1960).
- (4) 船引竜平, 神立 誠 : 本誌, 39, 157 (1965).
- (5) 船引竜平, 神立 誠 : 本誌, 39, 257 (1965).
- (6) 船引竜平, 神立 誠 : 本誌, 39, 307 (1965).
- (7) G. Schapira, J. C. Dreyfus, J. Kruh : *Biochem. J.*, 82, 290 (1962).
- (8) 船引竜平, 神立 誠 : 本誌, 39, 501 (1965).
- (9) 神立 誠, 有吉修二郎 : 本誌, 25, 240 (1951).
- (10) R. Funabiki, M. Kandatsu : *J. Biochemistry*, (1966), 投稿中.
- (11) 船引竜平, 神立 誠 : 昭和 40 年度日本農芸化学会大会 (昭和 40 年 4 月, 東京).
- (12) 船引竜平, 神立 誠 : 昭和 41 年度日本農芸化学会大会 (昭和 41 年 4 月, 京都).