作物における光合成産物転流の経路と機構

長南信雄*

緑葉中での光合成の機構については膨大な研究があり、さまざまな解説も書かれている。しかし、我々が作物として利用する果実・種子や根中に貯蔵されるそれら産物は、どのような経路で、どのような変化を受けつつ移動してゆくのであろうか。この古くて新しい重要な問題を組織・細胞化学的観点から捉えると……

最近の光合成に関する研究の発展はめざましいものがあり、高い光合成能力と結びついた C_4 ジカルボン酸経路の発見は、イネやコムギなど C_3 型作物の生産力向上に新たな展望を与えるものとして注目されている。しかし、光合成産物の転流または蓄積の過程が何らかの要因で抑制されると、光合成自体も抑制されることが明らかになってきた。このことは、光合成をはじめ転流および蓄積にいたる一連の過程がすべて効率よく進むことによって初めて作物の高い生産力が発揮されることを示している。

光合成は主として葉緑体をもつ葉肉細胞内で行なわれ、光合成産物は果実・種子などの貯蔵器官や生長中の若い組織へ送られる。一般に、光合成産物の供給体をソース (source) と呼び、その受容体をシンク (sink) と呼んでいる。ソースからシンクへの光合成産物の転流経路の一例を模式的に示したのが図1である。この図は、イネの葉身から葉鞘のデンプン貯蔵細胞 (基本柔細胞) に光合成産物が転流して、貯蔵される場合について示したものである。これによれば、光合成産物はまず葉肉細胞から最寄りの葉脈 (維管束) 内の師管に入る。師管の周囲には数個の柔細胞が存在し、さらにその周囲を葉緑鞘やメストム鞘と呼ばれる維管束鞘の細胞がとり囲んでいる。したがって、光合成産物が師管に到達するまでには、数個の細胞間を移動しなければならない。このような転流はソース内短距離転流と呼ばれる。

維管束の師管に入った光合成産物は、葉から茎

を通して果実・種子あるいは根端や茎の生長点などに 50~100 cm/h の速度で転流するので、長距離転流と呼ばれている。長距離転流の途中で、光

図1 ソースからシンクへの光合成産物の転流経路
模式図

矢印はシンプラスト経路を示す。

* Nobuo CHONAN, 茨城大学農学部

図 2 シコケビエ (C_4 植物) の葉緑体 (長南原図)
葉緑体周辺部には網状膜構造 (pr) が発達している。

図 3 トールフェスク (C_3 植物) の葉緑体 (長南原図)
er: 小胞体

図 4 トウモロコシ (C_4 植物) 葉身の維管束横断面の一部 (長南原図)
葉緑鞘細胞 (PS) には多量の葉緑体が含まれている。MC: 葉肉細胞, PP: 篩部柔細胞, ST: 篩管, CC: 伴細胞。

図 5 イネ(*C₃* 植物)葉身の横走維管束断面⁽¹³⁾
MC: 葉肉細胞, PP: 師部柔細胞, ST: 師管, V: 道管,
XP: 木部柔細胞

図 6 イネ葉身維管束の師管・伴細胞複合体(長南原図)
伴細胞(CC)には多数のミトコンドリア(m)が含まれてい
る。ST: 師管

図 7 エンドウ葉身の師部転送細胞をもつ維管束⁽³⁾
A: A型師部転送細胞, B: B型師部転送細胞, ST: 師管, 矢印は細胞
壁突起を示す。

図 8 イネの師板断面（上：長南原図，下：川原ら⁽¹¹⁾）

上：グルタルアルデヒドとオスミック酸による固定，師孔（矢印）はカロースの沈着によって塞まっている．p：タンパク結晶体を含むプラスチッド．

下：凍結置換法による．師孔（矢印）は開いている．

図 9 イネ葉鞘の維管束横断面の一部⁽¹²⁾

ST：師管，CC：伴細胞，PP：師部柔細胞，MS：メストム鞘細胞，PC：デンプン貯蔵細胞（基本柔細胞），m：ミトコンドリア，sl：スベリン層，矢印は原形質連絡を示す．

合成産物の一部は葉鞘や茎などの基本柔細胞に一時的に貯蔵されるが、稔実期にはこれらの貯蔵物質は葉からの光合成産物とともに果実・種子に転流する。貯蔵器官に達した光合成産物は、師管から出て再び細胞から細胞へと移動するので、この転流はシンク内短距離転流と呼ぶことができる。

このように、光合成産物の転流過程はソースおよびシンク内の短距離転流と長距離転流に分けられる。以下、これら転流の経路とその機構を主として組織・細胞学的知見に基づいて考えてみたい。

葉緑体と葉肉細胞の転流系構造^(4, 9, 10)

光合成初期産物は、葉緑体の包膜を通過して細胞質に出る。内外2枚の包膜のうち内膜が選択的透過性をもち、外膜はあまり物質透過の障害にはならない。トリオースリン酸 (DHAP) は包膜を透過し易く、 C_3 植物ではこの物質から細胞質内でスクロースが合成される。一方、 C_4 植物では、葉肉細胞の葉緑体でリンゴ酸やアスバラギン酸などの C_4 ジカルボン酸が合成され、これらの光合成初期産物が容易に包膜を透過して細胞質に流出する。

C_4 植物の葉肉細胞内葉緑体 (図 2) では、内膜系が周辺部までよく発達し、包膜のすぐ内側には網状の膜構造 (peripheral reticulum, pr) が発達している。この膜構造は、内部のチラコイド膜に連絡すると同時に、包膜の内膜にも連絡している。この網状の膜構造によって葉緑体内部と包膜の接触面積が著しく拡大され、光合成初期産物の細胞質への輸送が促進される。一方、 C_3 植物の葉緑体 (図 3) には周辺部の網状膜構造がほとんど発達せず、包膜の内側はストロマによって占められている。

光合成産物は、細胞質内対流にのって移動する過程で小胞体 (er) にとり込まれ (図 3)、各種酵素から隔離される。光合成産物が隣接する葉肉細胞に移動する場合は、原形質連絡を通る。原形質連絡は細胞壁を貫通する微小な管で、その直径は約 60 nm である。原形質連絡は二重の管から成り、外側の管は隣接する両細胞の原形質膜に連絡し、内側の管は小胞体に連絡している。したがっ

て、光合成産物が葉肉細胞間を移動する場合は、小胞体→原形質連絡→小胞体という経路を通ることになる。原形質連絡には ATPase が検出されることから、括約筋のような働きによって、光合成産物を積極的に流しているという考えもあるが、原形質連絡の総断面積と転流量から転流速度を計算した結果によると、原形質連絡の両端に生ずる光合成産物の濃度勾配によって拡散するという説が有力である。

葉肉細胞は光合成反応に必要な CO_2 を吸収するために、細胞間隙に露出する表面積をできるだけ大きくするような形をとっているが、このことは必然的に隣接細胞との接触面積を小さくし、原形質連絡による光合成産物の移動にとって不利な結果を招くことになる。高等植物の葉肉組織は、種によってそれぞれ特有な細胞の形と配列をとることにより、この矛盾を解決している。たとえば、双子葉植物の葉の表側には円筒状の柵状細胞が葉の表面に対して直角の方向に配列し、柵状細胞の相互連絡はみられないが、葉肉組織の内層部で海綿状細胞と連絡している。一方、海綿状細胞は相互に連絡し、維管束に光合成産物を輸送する通路となっている。また、イネ科植物の葉肉細胞は、数個の突起をもった有腕状の形を示し、細胞表面積を拡大するとともに突起の先端部で隣接細胞と原形質連絡によって連絡している (図 1)。

維管束鞘細胞の構造と機能

葉肉細胞でつくられた光合成産物は、維管束をとり巻く維管束鞘細胞を経由して師部に送られる。維管束鞘細胞ではスクロースやデンプンの合成をはじめ、光合成産物を葉緑体や液胞の中に一時的に貯蔵して細胞質内の糖濃度を調節するなど、さまざまな機能を果たしているものと考えられる。維管束鞘細胞は葉緑体をもつ葉緑鞘細胞とそれをもたないメストム鞘細胞の2種類に分けられるが、植物の種類や器官の種類によってそのいずれかを欠く場合がある。

1. 葉緑鞘細胞^(8, 9)

一般に、葉の維管束の周囲には葉緑鞘が存在す

るが、その機能は C_3 植物と C_4 植物で異なる。 C_4 植物の葉では葉緑鞘細胞がよく発達し、葉肉細胞内の葉緑体とは構造の異なる葉緑体を多量にもつ(図4)。この葉緑鞘細胞は葉身の断面では花冠のように見えることから、クランツ(Kranz)細胞とも呼ばれている。 C_4 植物の葉肉細胞でつくられた C_4 ジカルボン酸は葉緑鞘細胞に移動し、脱炭酸反応により CO_2 とピルビン酸になる。この反応により葉緑鞘細胞内の CO_2 濃度が著しく高まり、カルビン-ベンソン回路によるスクロース合成が促進される。このように、 C_4 植物ではスクロース合成が維管束のすぐ外側をとり巻く葉緑鞘細胞で行なわれることによって、光合成産物の短距離転流が効率よく進むものとみられる。

一方、 C_3 植物の葉緑鞘細胞内には葉緑体が少なく、その構造と機能も葉肉細胞の葉緑体と同じである。すなわち、 C_3 植物では葉肉細胞と葉緑鞘細胞にカルビン-ベンソン回路が存在し、この両細胞でスクロースの合成が行なわれる。葉肉細胞から葉緑鞘細胞まで、 C_4 植物では C_4 ジカルボン酸の形で転流するのに対して、 C_3 植物ではスクロースの形で転流することになる。さらに、 C_4 植物では葉緑鞘をとり巻く葉肉細胞はほぼ1層であるが、 C_3 植物では葉緑鞘の周囲に数層の葉肉細胞が配列している。このため、 C_3 植物の1個の葉緑鞘細胞にかかる転流上の負担は C_4 植物よりも大きい。

前にも述べたように、葉肉細胞間のスクロースの移動は、濃度勾配に沿って拡散により原形質連絡を通るものとみられる。葉肉細胞から葉緑鞘細胞への移動もやはり原形質連絡による移動であるが、この両細胞間にはスクロースの濃度勾配が生じないと移動は起こらない。 C_3 植物の葉緑鞘細胞内葉緑体には光合成産物がデンプンとして一時的に貯蔵され、またこの細胞の大きな液胞内にも可溶性糖類が一時的に貯蔵されることによって、細胞質内の糖濃度が低く保たれるように調節されているものと考えられる。光合成によるスクロースの生産が葉緑鞘細胞の濃度調節能力を上まわると、葉肉細胞内葉緑体にもデンプンが一時的に蓄積される。

2. 細胞壁内スベリン層の役割^(8,9)

イネ科の C_3 植物の全部と C_4 植物の一部の種には、葉緑鞘の内側にメストム鞘と呼ばれるもう1層の細胞層が発達している。メストム鞘細胞は葉緑鞘細胞に比べて細胞壁が厚く、葉緑体の代りにプラスチックが含まれている。メストム鞘の細胞壁にはしばしばスベリン層が形成される。このスベリン層は不透水性を示すので、道管を流れる水が維管束の周囲に漏れ出るのを防ぐ役割を果たしている。イネの葉鞘や節間の維管束では、スベリン層をもったメストム鞘細胞が発達しているために、蒸散流を効率よく葉身に流すことができる(図1, 9)。

メストム鞘の細胞壁にスベリン層が発達していても、原形質連絡はこのスベリン層を貫通しているので光合成産物の移動の妨げにはならない。とくに、葉が展開してから最も活発に転流機能を果たす後生師部の外側に位置するメストム鞘の細胞壁には、原形質連絡が密集しているので、スクロースはこの通路によって師部柔細胞に流入する。師部柔細胞に流入したスクロースは、後に述べるように原形質膜を通過してフリースペース(細胞壁内および原形質膜と細胞壁の間)に放出されるが、メストム鞘細胞壁のスベリン層はフリースペースのスクロースを維管束の外側に逆流しないよう封じ込める働きもしている。

C_4 植物のある種の葉身では、維管束が葉緑鞘細胞のみによって囲まれていて、その細胞壁にはスベリン層が発達している(図4)。葉肉細胞でつくられた C_4 ジカルボン酸は、スベリン層を貫通する原形質連絡を通して葉緑鞘細胞に入り、脱炭酸により CO_2 濃度が著しく高まるが、スベリン層はこの CO_2 を細胞内に封じ込める働きもしている。

師部内のアボプラスト経路^(5,10)

光合成産物が葉肉細胞から維管束鞘細胞を通して師部に入るまでの転流経路は、細胞間の原形質連絡による移動である。すなわち、原形質膜の内側で物質の移動が行なわれるので、シンプラスト経路と呼ぶことができる。しかし、光合成産物が

師部柔細胞を経由して師管に入るまでの過程ではフリースペース、すなわち原形質膜の外側のアポプラスト経路を通ることが明らかになってきた。また、このような師部内の短距離移動経路については、C₃植物とC₄植物の間で基本的な差異はみられない。

光合成産物の細胞間移動経路を調べるためには、¹⁴Cをトレーサーとしたマイクロオートラジオグラフによる方法が考えられるが、この方法は固定、包埋など顕微鏡観察のための材料処理過程で¹⁴Cが移動する危険性がある。そこで、間接的に光合成産物の移動経路を知る方法として、原形質連絡の細胞間の分布を調べる方法がとられている。細胞間に原形質連絡が存在しない場合には、アポプラスト経路の移動が行なわれている根拠となる。このような方法で維管束細胞間の移動経路を推定した例を次に紹介しよう⁽¹³⁾。

イネの葉身には縦に平行に走っている縦走維管束がある。これらの維管束は、相互に細い横走維管束によって連絡している。図5は横走維管束断面を電顕によって観察したものである。この維管束は、1個の師管と2個の師部柔細胞および1個の道管と1個の木部柔細胞から構成されていて、維管束の中では最も単純な組織構成を示す。この維管束周囲には維管束鞘細胞がないため、各構成細胞は葉肉細胞と接している。これら細胞間の原形質連絡の頻度分布を調べた結果によれば、葉肉細胞-師部柔細胞-木部柔細胞-葉肉細胞の各細胞接触部にはいずれも原形質連絡が存在するが、師管はいずれの細胞との間にも原形質連絡をもっていない。さらに、この師管は木部と師部の柔細胞および葉肉細胞によって完全に包囲され、師管の壁が細胞間隙に露出することはない。このような構造からスクロースの移動経路を推定すると、葉肉細胞から維管束柔細胞への移動は原形質連絡によるシンプラスト移動が行なわれているが、その過程でスクロースは師管周辺のアポプラストに放出され、最終的には師管の原形質膜を通して吸収されているものと推定される。

維管束の周囲に維管束鞘細胞が存在する場合には、スクロースはその直ぐ内側に配列する師部柔

細胞までシンプラスト経路で移動したのち、アポプラストに放出される(図1)。

師管・伴細胞複合体の構造と機能⁽⁶⁾

前記の横走維管束では、師管が単独でアポプラストからスクロースを吸収すると考えられるが、縦走維管束の師部では、師管が伴細胞と呼ばれる特定の細胞とだけ原形質連絡によって連絡し、この1対の師管と伴細胞がアポプラストからスクロースを吸収している。師管と伴細胞はもともと1個の母細胞が2個に分裂して複合体を形成し、両者は密接な相互依存関係をもっている。

師管と伴細胞の間の原形質連絡は、伴細胞側で数本に枝分かれした分枝状原形質連絡で、このような構造は普通の細胞間ではまったくみられない。師管・伴細胞複合体は通常、その周囲の柔細胞との間に原形質連絡をもっていない。伴細胞にはクリステの発達したミトコンドリアが多量に存在し、細胞基質の濃度が高い(図6)。また、師管・伴細胞複合体の原形質膜にはATPaseの存在することが明らかになっている。

トウモロコシやテンサイの維管束細胞の浸透圧を測定した結果によると、師管・伴細胞複合体は、その周囲の師部柔細胞や葉肉細胞よりも浸透圧が2倍以上も高くなっている⁽¹⁴⁾。これらの測定結果は、スクロースが単なる物理的拡散によって師部の細胞間を移動するのではなく、スクロースが一旦アポプラストに放出されたのち、師管・伴細胞複合体によって積極的に吸収・濃縮されていることを示している。さらに、この吸収過程では、伴細胞のミトコンドリアによって生産されたATPエネルギーが使われている。

原形質膜を通してアポプラストからスクロースが吸収される機構として、プロトンポンプ(sucrose-proton cotransport)が働いていると考えられている。これによれば、スクロースはH⁺とともに原形質膜上のキャリアーによってアポプラストから師管・伴細胞複合体にとり込まれるが、H⁺はATPエネルギーによってアポプラストのK⁺と置換される^(5,10)。

師部転送細胞の構造と機能⁽⁷⁾

マメ科植物葉身の網状脈の末端部に位置する細い維管束には、師部転送細胞 (phloem transfer cell) と呼ばれる特殊な構造の細胞が存在する。師部転送細胞では細胞壁が内部へ突起状に発達し、原形質膜の表面積が普通の細胞の 10 倍以上にも拡大している (図 7)。すなわち、師部転送細胞ではアポプラストに接する原形質膜の表面積が大きいので、スクロースを吸収する働きが大きい。

師管に接する転送細胞はミトコンドリアを多く含んでいて、細胞基質の濃度が高いので、伴細胞に相当するものと考えられ、A型転送細胞と名づけられている。師部転送細胞にはこのほかにB型もあるが、これは細胞壁突起がA型転送細胞に接する部分に限定され、その発達も比較的少なく、細胞基質の濃度も低いので、普通の師部柔細胞に相当すると考えられている。

師部転送細胞の細胞壁突起は、葉身が展開する過程で気孔が完成し、葉肉組織の細胞間隙ができ、葉面積が完全展開時の7~8割に達した頃から発達し始める。細胞壁突起の発達状態と光合成産物の葉からの流出との関係をみた結果によると、光合成産物の流出開始と同時に細胞壁突起の形成が始まり、その後、突起の生長と並行して光合成産物の流出速度も高まる。また、暗所で育ったエンドウの葉や、アルビノ突然変異体の葉では、師部転送細胞の壁突起が正常の大きさと数に達しない。これらの結果は、師部転送細胞が光合成産物の転流に密接に関与していることを証明するものである。なお、師部転送細胞はマメ科植物の特定の属に存在するもので、イネ科植物では見つかっていない。

師管の構造と転流仮説^(1,2,6)

師管は普通の細胞と異なって特殊な構造をもっている。未成熟の師管細胞は、核と液胞およびミトコンドリア、プラスチックなどの小器官を含み、普通の細胞と同じ構造であるが、成熟する過程で細胞は細長い形となり、核と液胞が消失し、

新たに P-タンパクや特殊なプラスチックがつくられる。P-タンパクは管状、繊維状などの形状を示し、師管内を移動したり分散してその形状が変化する。また、師管内のプラスチックにはデンプン粒を含むものとタンパク結晶体 (図 8-上) を含むものがある。このほか、師管にはミトコンドリアと小胞体もみられる。

師管は師板によって仕切られているが、その師板には直径 0.1~15 μm の師孔が数多く存在する。グルタルアルデヒドとオスミック酸を使った普通の固定法で電顕観察すると、師孔周辺の細胞壁にカロース (β -1,3-グルカン) が沈積し、師孔は塞がっている (図 8-上)。これは恐らく、材料を切断した際に急速にカロースが沈積して師孔を塞ぎ、師管内容物が切り口から流出するのを防いだものとみられる。

師管転流を説明する仮説の中で最もよく知られているのは Münch の圧流説である。この説によれば、ソースの師管はスクロースを吸収して膨圧が高まるが、シンクではスクロースが生長や呼吸に使われたり貯蔵されるため、師管内のスクロース濃度が低下して膨圧も低下する。この膨圧差によって師管汁液のソースからシンクへの流れが生ずる。圧流説を支持する根拠のひとつとして、セイヨウトネリコの師管滲出液の濃度を測定した実験がある。これによると、葉が光合成産物を供給している夏の間は、樹幹の上から下に向かって糖濃度の勾配がみられる。その他、多くの根拠から圧流説への支持は強いが、この説によれば、師管汁液はソースとシンクの間を物理的障害なしに流れなければならない。したがって、師管の中で最も物理的障害の起こりやすい師孔に P-タンパクなどの師管内容物が存在するか否かが圧流説を考えるうえで重要なポイントになる。

師孔の構造を生きたままの状態では正確にとらえることはきわめて困難である。それは、材料を切断する際に師管にかかっている高い圧力が急激に解放され、師管内の構造が破壊され易いためである。このような電顕観察の過程で生ずる影響をできるだけ少なくするために、さまざまな工夫がなされている。たとえば、材料切断による影響を小

さくするため、植物全体を液体窒素で瞬間的に凍結させてから切断して固定する凍結置換法や、植物を萎凋させて師管内の膨圧が低下してから固定する方法などが用いられている。

カボチャの植物体を 48 時間暗所に置いて、師管内容物が消費され、師管の膨圧が低下してから固定し、電顕観察した結果によると、師孔には P-タンパクがみられない。また、筆者らも凍結置換法によってイネの根と葉の師管を電顕観察し、師孔が開いていて P-タンパクも存在しないことを認めた(図 8-下)。これらの観察結果は圧流説を支持する根拠となるが、一方では、師孔がコースで狭まっていたり、小胞体または P-タンパクで師孔が塞まっている例も報告されている。

また、葉柄や茎の一部を冷却したり、呼吸阻害剤で処理すると、転流が阻害あるいは停止することなどから、師管転流は師部の代謝活性と結びついていることも示されている。このように、圧流説だけでは師管転流を十分に説明できないので、これを補足するものとしていくつかの能動転流(active transport)説が考えられている。能動転流説の主なものとしては、電気浸透説、P-タンパクあるいは細胞質素条の運動説などがあるが、いずれも十分に実証されたものではない。

師管から貯蔵細胞への転流

光合成産物は、葉鞘、茎、根などの栄養器官に蓄えられる場合と、果実・種子などの生殖器官に蓄えられる場合とがあり、このいずれの器官に蓄えられるかによって転流経路も異なる。ここでは、イネ葉鞘の基本柔細胞に光合成産物が蓄えられる場合の転流経路について述べることにしよう(図 1, 図 9)⁽¹²⁾。

イネの成熟した葉鞘の基部には一時的にデンプンが蓄積されるが、このデンプンは葉身でつくられた光合成産物の一部が葉鞘維管束の師管から基本柔細胞まで短距離転流してきたものである。この転流経路内には伴細胞、師部柔細胞およびメストム鞘細胞などが存在する。葉身の維管束と同じように、師管と伴細胞の間には原形質連絡があり、両者は複合体を形成するが、この複合体とその周

囲の師部柔細胞との間には原形質連絡が存在しない。したがって、師管内のスクロースは直接あるいは伴細胞を経由してアポプラストに放出されるものと考えられる。そして、アポプラスト内のスクロースは師部柔細胞によって吸収されたのち、原形質連絡によってメストム鞘細胞から基本柔細胞へと移動するものと考えられる。すなわち、コース内の短距離転流経路とまったく逆の経路によって移動することになるが、この場合に最も重要な機能を果たすのは師部柔細胞である。葉鞘維管束の師部柔細胞には比較的多数のミトコンドリアが含まれているので、この細胞がプロトンポンプ機構によってスクロースを吸収、濃縮しているものと推定される。一方、基本柔細胞ではスクロースからデンプンが合成されるため、師部柔細胞から基本柔細胞へのスクロース濃度の勾配が生じ、シンプラスト経路の転流が行なわれるものと考えられる。

なお、果実・種子内の転流についてはふれなかったが、禾穀類ではスクロースが胚乳デンプン細胞に入る段階で、原形質膜による吸収の行なわれていることが、最近の研究によって明らかにされていることをつけ加えておきたい。

文 献

- 1) 熊沢喜久雄：‘光合成産物の転流と蓄積’，宮地重遠編，“光合成Ⅱ”，朝倉書店，1981，p. 174.
- 2) M. リチャードソン：“植物の物質輸送”，吉田邦久訳，朝倉書店，1980.
- 3) 長南信雄：農業技術，34，149 (1979).
- 4) W.M. Laetch : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 25, 172 (1974).
- 5) R. T. Giaquinta : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 34, 347 (1983).
- 6) J. Cronshaw : in “Dynamic Aspects of Plant Ultrastructure”, ed. by A.W. Robards, McGraw-Hill, 1974, p. 391.
- 7) B. E. S. Gunning & J. S. Pate : in “Dynamic Aspects of Plant Ultrastructure”, ed. by A.W. Robards, McGraw-Hill, 1974, p. 441.
- 8) B. E. S. Gunning : in “Intercellular Communication in Plants : Studies on Plasmodesmata”, ed. by B. E. S. Gunning and A. W. Robards, 1976, p. 203.
- 9) C. B. Osmond & F. A. Smith : in “Intercellular Communication in Plants : Studies on Plasmodesmata”, ed. by B. E. S. Gunning and A. W. Robards, 1976, p. 229.
- 10) A. L. Kursanov : “Assimilate Transport in Plants”, Elsevier, 1984.

- 11) 川原治之助, 松田智明, 長南信雄: 日作紀, 49, 330 (1980).
- 12) 長南信雄, 川原治之助, 松田智明: 日作紀, 53, 435 (1984).
- 13) 長南信雄, 川原治之助, 松田智明: 日作紀, 54, 160 (1985).
- 14) R. F. Evert, W. Eschrich & W. Heyser: *Planta*, 138, 279 (1978).

プロフィール

石川 辰夫(Tatsuo Ishikawa) Vol 12, No.4, p.252 参照, 現在東京大学応用微生物研究所教授

伊奈 和夫(Kazuo Ina) Vol 20, No.3, p.148 参照

宇野 功(ISao Uno) Vol 20, No.12, p.777 参照

小野寺一清(Kazukiyo Onodera) Vol 14, No.2, p.93 参照, 現在東京大学農学部助教

神尾 好是(Yoshiyuki Kamio) 昭和17年5月5日生<略歴>昭和41年東北大学農学部農芸化学科卒業/47年同大学大学院農学研究科博士課程修了/同年朝日麦酒(株)中央研究所勤務(〜49年)/52年信州大学医学部助教, 現在にいたる. この間, 49〜51年米国カリフォルニア大学バークレー校およびイリノイ大学アーバナ校研究員, 58〜59年ユニホームドサービス大学客員助教授<研究テーマと抱負>分子生物学的手法により, ポリアミンの細胞表層膜における生物学的意義を明らかにしてゆきたい<趣味>絵画, ジョギング

熊谷 英彦(Hidehiko Kumagai) 昭和15年10月30日生<略歴>昭和39年京都大学農学部農学科卒業/44年同大学大学院農学研究科博士課程修了, 同年同大学食糧科学研究所助手/52年同農学部食品工学科助教, 現在にいたる<研究テーマと抱負>微生物酵素による新しい生物活性物質の合成. その活性物質の生理的機能の解明などを行なってゆくことにより, 新しい微生物生産物の開発につながれたいと思います<趣味>スポーツ(学生とソフトボールや軟式野球をすること)

桑原 保正(Yasumasa Kuwahara) Vol 16, No.7, p.422 参照

越島 哲夫(Tetsuo Koshijima) Vol

20, No.1, p.12 参照

昆野 安彦(Yasuhiko Konno) 昭和30年5月2日生<略歴>昭和54年東京大学農学部農業生物学科卒業/56年同大学大学院農学系研究科修士課程修了/57年同博士課程中退/同年農林水産省農業技術研究所農業科研究員/58年同省農業環境技術研究所農業動態科研究員, 現在にいたる. 60年農博<研究テーマと抱負>農業害虫の殺虫剤抵抗性機構の解明と抵抗性打破剤の開発<趣味>山, トライアスロン

斎藤正三郎(Shozaburo Saito) 昭和6年5月22日生<略歴>昭和29年東北大学工学部応用化学科卒業/34年同大学大学院工学研究科博士課程修了(化学工学), 工博/37年同工学部化学工学科助教/45年同教授, 現在にいたる<研究テーマと抱負>魚油の超臨界ガス抽出, 膜分離, 石炭の超臨界ガス抽出, 高分子多成分系のマイクロ相分離構造<趣味>囲碁

柴岡 弘郎(Hiroh Shibaoka) 昭和9年1月21日生<略歴>昭和31年東京大学理学部生物学科卒業, 同年同大学大学院進学/36年同理学部付属植物園助手/44年同理学部植物学教室助手/49年東京都立大学理学部助教/56年大阪大学理学部教授, 現在にいたる<研究テーマと抱負>植物ホルモン, 微小管, 成長・分化の三題語をできるだけ筋の通ったものにする<趣味>歩くことと走ること

周 恒剛(Zhōu Hénggāng) 1918年生<略歴>ハルビン原籍. 1953〜72年軽工業部食品局/72〜84年河北省廊坊地区軽工業区副局長. 現在, 中国食品協会理事, 河北省食品学会会長, 河北省廊坊区食品研究所顧問, 中国白酒協会名誉会長.“白酒釀製操作法”の制定を行ない全国白酒の利酒大会を主催<研究テーマと抱負>茅台酒の研究, 濃香型白酒の窖泥老化的研究, 麴麴による醬香型および濃香型白酒の製造, 無蒸煮・生原料で

の白酒製造の研究<趣味>古文学, スポーツ観賞, 花を植えること

田村 五郎(Goro Tamura) Vol.11, No.2, p.136 参照

長南 信雄(Nobuo Chonan) 昭和7年12月15日生<略歴>昭和31年東北大学農学部農学科卒業/同年茨城県農業試験場勤務/33年茨城大学農学部教務員/37年東北大学農学部助手/47年茨城大学農学部助教(作物学), 現在にいたる<研究テーマと抱負>作物諸器官の構造と機能, とくに光合成産物の転流と蓄積の問題を組織・細胞学的手法によって明らかにしたい<趣味>囲碁

原 素之(Motoyuki Hara) 昭和27年8月6日生<略歴>昭和51年東北大学農学部水産学科卒業/53年同大学大学院農学研究科修士課程修了/同年水産庁東北水産研究所研究員, 現在にいたる<研究テーマと抱負>水産生物の遺伝・育種, 野生海産種の育種による生産管理<趣味>スキー, ゴルフ

藤井 弘志(Hiroshi Fujii) 昭和31年12月21日生<略歴>昭和54年岩手大学農学部農芸化学科卒業/同年山形県立農業試験場化学部研究員, 現在にいたる<研究テーマと抱負>水稻, 大豆の多収技術に関する研究(栄養生理的). 今後は植物と土壌(地力窒素の動態)を関連づけた方向で研究してゆきたい<趣味>スポーツ(野球, テニスなど)

村田 道雄(Michio Murata) 昭和33年10月5日生<略歴>1981年東北大学農学部食糧化学科卒業. 同大学大学院修士課程修了後, サントリー生物有機科学研究所勤務, 現在東北大学農学部助手<研究テーマと抱負>渦鞭毛藻の産生する生物活性物質, 微量生体情報物質を見つけた<趣味>お酒を飲むこと