褐藻ツルアラメ藻体に投与した ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{65}Zn の匍匐枝を通した葉状部間の転流

桐原 慎二, 中村 良一, 中原 元和, 能登谷正浩, 有賀 祐勝

(1992 年 7 月 29 日受付)

Translocation of ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{57}Co , and ^{65}Zn through Stoloniferous Haptera between the Thalli of *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta)

Shinji Kiriwara,*¹ Ryoichi Nakamura,*² Motokazu Nakahara,*²
Masahiro Notoya,*³ and Yusuo Aruga*³

Four radioisotopes (^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{57}Co , and ^{65}Zn) were inoculated at the meristem of adult or juvenile blades of the brown alga *Ecklonia stolonifera* Okamura in which the adult thallus is connected with the juvenile thallus by stoloniferous haptera. The result clearly showed that ^{85}Sr , ^{137}Cs , and ^{57}Co were translocated in the thallus. Three hours after inoculation to the meristem of the adult blade, the highest radioactivity of translocated isotopes was obtained in the juvenile blade. When inoculated to the meristem of the juvenile blade, high radioactivities were observed in the stolon and haptera after one hour, whereas after 2-3 hours high radioactivity was observed in the meristem of the adult blade. It is clear that these elements taken up from the blade meristem are translocated to another blade through the stipe and stoloniferous haptera. ^{65}Zn , however, did not show a clear tendency of translocation.

コンブ目植物体内における無機物質の移動については、これまで *Laminaria digitata*, *L. hyperborea*, *L. setchellii*, *L. ochroleuca*, *L. saccharina*, *L. japonica*, *Chorda filum*, *Saccorhiza polyschides*, *Alaria esculenta*, *A. marginata*, *Egregia menziesii*, *Macrocystis integrifolia*, *Nereocystis luetkeana* で検討され、 ^{32}P , ^{86}Rb , ^{85}S , ^{125}I などは葉状体で吸収された物質が成長帯や茎状部を経て仮根部に向かって比較的長距離移動することが確かめられている。^{1,2)} また、*Macrocystis pyrifera* では、藻体の各部位からの取り込み量とそこでの濃度が一致しないことから、葉状部から葉状部基部や仮根部への金属類の移動が間接的に証明されている。³⁾

ツルアラメ *Ecklonia stolonifera* は北海道、本州、九州及び朝鮮半島南岸の日本海沿岸に分布し、本邦産コンブ目植物の中で唯一匍匐枝による栄養繁殖が認められる種である。⁴⁾ これまでツルアラメの様な匍匐枝によって栄養繁殖するコンブ目植物について藻体内の物質移動を検討した報告はない。そこで、本研究ではツルアラメの成葉及び幼葉に、褐藻類に特異的に蓄積されることが知

られている Sr^{85} の同位体である ^{85}Sr のほか ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{65}Zn をトレーサーとして投与し、それらが匍匐枝を通して葉状部間を移動することを観察したので報告する。

材料と方法

材料のツルアラメは 1990 年 11 月 7 日に青森県深浦町地先の水深 2 m に生育していた藻体を採取し、直ちに茨城県那珂湊市にある放射線医学総合研究所に運び、実験開始まで同所の流水式水槽中に保存した。実験には、1 齢の幼葉 (葉長 4~9 cm) と 2~3 齢の成葉 (葉長約 15 cm) をそれぞれ 1 葉ずつもつ藻体 6 個体を選び出し、藻体表面をペーパータオルで拭き、附着物を取り除いた後、滅菌海水中で数回洗浄して用いた。実験中は藻体の乾燥を防ぐため、トレーサーの投与部分を除いた藻体表面を海水を含む脱脂綿を極く薄く延ばして包み、1 個体ずつプラスチックバットに入れた。 ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{57}Co , ^{65}Zn はそれぞれ 270 kBq, 380 kBq, 370 kBq, 250 kBq ずつ適当量の海水に添加し、その後 1 N NaOH で pH 8 に調整した後、全量を 5 ml とした。なお、用いた放射性

*¹ 青森県水産増殖センター (Aomori Prefecture Aquaculture Center, Moura, Hiranai, Aomori 039-34, Japan).

*² 放射線医学総合研究所 (Division of Marine Radioecology, National Institute of Radiological Science, Isozaki, Nakaminato, Ibaraki 311-12, Japan).

*³ 東京水産大学藻類学研究室 (Laboratory of Phycology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

Fig. 1. Illustrations of portions of thallus for radioactivity measurements of *Ecklonia stolonifera* Okamura.

a, Upper part of adult blade; b, Middle part of adult blade; c, Meristematic zone of adult blade; d, Stipe; e, Haptera; f, Stolon; g, Meristematic zone of juvenile blade; h, Upper part of juvenile blade; ■, Inoculated point of radioisotopes.

同位体はいずれも塩化物で、調整液の元素濃度は Sr は 1.26×10^{-4} mg/ml, Cs は 2.36×10^{-5} mg/ml, Co は 2.38×10^{-7} mg/ml, Zn は 2.44×10^{-5} mg/ml であった。この 0.2 ml を 1 cm×1 cm の濾紙に浸み込ませ、3 個体の藻体には成葉の成長帯に、他の 3 個体には幼葉の成長帯にこの濾紙を密着させた。濾紙は測定のために藻体を切断するまで密着したままとした。藻体の表面が 2000 lux になるよう植物育成灯を灯し、 $18 \pm 2^\circ\text{C}$ の条件下に静置した。1, 2, 3 時間後に、藻体を Fig. 1 に示すような 7~8 の部分に切断し、湿重量を測定した後、 γ 線マルチチャンネルアナライザー (SEIKO EG & G 7500 型) を用いて各葉片の放射能を測定し、藻体 1 g あたりの放射能 (cpm/g) を算出した。

結果と考察

成葉の成長帯に Sr, Cs, Co, Zn の放射性同位体を投与し、1, 2, 3 時間後に放射能を測定した結果を Fig. 2 に示す。

^{86}Sr は、投与 1 時間後には、幼葉の成長帯で 21.0 cpm/g と藻体各部の中で最大を示し、次いで幼葉の上部で 16.7 cpm/g を示した。これに比べてトレーサー投与部と幼葉の間に位置する匍匐枝や仮根、成葉の茎状部では 6.7 cpm/g 以下で、その他の部分では 1.6 cpm/g と低い値であった。投与 2, 3 時間後に幼葉の成長帯ではそれぞれ 73.3, 117.8 cpm/g と増加し、藻体の各部位の間で最大値となった。

^{137}Cs は、幼葉の成長帯では投与 1, 2, 3 時間後にそれぞれ 19.4, 22.0, 137.5 cpm/g となり、いずれの測定時に

Fig. 2. Distributions of radioactivity of 4 radioisotopes in each portion of thallus of *Ecklonia stolonifera* Okamura, 1, 2, and 3 hours after inoculation at the meristematic zone of the adult blade. n, Not detected.

も他の部分に比べて高く、3 時間後には最高になった。

^{67}Co も幼葉の成長帯では、いずれの測定時にも最も高い値を示し、3 時間後には 339.3 cpm/g と最大値を示した。これに次いで匍匐枝、仮根部などで比較的高い値が得られたが、上述の 2 種類のトレーサーと同様に成葉の中部及び上部では低い値であった。

^{65}Zn は前 3 種のトレーサーとは異なり、幼葉に投与し

Fig. 3. Distributions of radioactivity of 4 radioisotopes in each portion of thallus of *Ecklonia stolonifera* Okamura, 1, 2, and 3 hours after inoculation at the meristematic zone of the juvenile blade. n, Not detected.

た場合と同様に藻体各部への移動と蓄積の傾向は明瞭ではなかった。

以上の結果から ^{86}Sr , ^{137}Cs , ^{67}Co の3種の放射性同位体は匍匐枝を通り、成葉から幼葉へ移動することが明らかとなり、幼葉形成に成葉の物質が用いられている可能性が推察される。

さらに、匍匐枝における物質移動の方向性を検討するため、幼葉の成長帯に放射性同位体を投与し、1, 2, 3時間後に放射能を測定した。その結果を Fig. 3 に示す。

^{86}Sr は、投与1時間後、投与部位に最も近い匍匐枝で 23.6 cpm/g と最大値を示し、次いで仮根 (14.6 cpm/g)、成葉の基部 (9.2 cpm/g) と投与部位に近い順に高い値が認められたが、成葉では 3.1 cpm/g 以下の低い値であった。しかし、投与2時間後には、成葉の成長帯で 14.3 cpm/g と他の部分より高い値を示し、3時間後には 51.7 cpm/g と更に際立って高い値となった。

^{137}Cs も ^{86}Sr とほぼ同様の傾向を示し、投与1時間後には匍匐枝および仮根でそれぞれ 108.3, 60.0 cpm/g と投与部位に近い部分ほど高い値を示したが、成葉では 2.0 cpm/g 以下の極めて低い値であった。しかし、投与2時間後以降には、成葉の成長帯で値が高くなり、3時間後には 25.6 cpm/g となった。一方、匍匐枝や仮根では、投与3時間後には放射能は検出されなかった。また、成葉の中部または上部では各測定時とも 5.1 cpm/g 以下の低い値であった。

^{67}Co も前2種の同位体と同様に、投与1時間後には匍匐枝で最も高い 69.4 cpm/g を示し、投与部位から離れるにしたがってその値は減少した。投与2, 3時間後には、成葉の成長帯でそれぞれ 61.1, 111.5 cpm/g となり、時間の経過と共に他の部分に比べて著しく高い値を示すようになった。

しかし、 ^{65}Zn の場合には投与後いずれの測定時でもそれぞれの部分の放射能は 13 cpm/g 以下にとどまり、移動や蓄積などの明瞭な傾向は認められなかった。

放射性同位体を幼葉に投与した場合に見られた成葉の成長帯における時間経過に伴う各放射能の変化と、成葉の成長帯に投与した場合に見られた幼葉における同様の变化を Fig. 4 (A) と (B) にそれぞれ示す。成葉の成長帯でも幼葉でも放射能は時間の経過に伴って高くなった。

コンブ目植物では一般に物質は成長帯及び付着器の方向に髄層を通して求根的に移動するが、古い葉状部の組織には移動しないとされている。¹⁾ また、*L. saccharina* を用いた実験でも、葉状部あるいは成長帯に投与した放射性同位体は仮根部に移動したが、仮根部に投与した場合は葉状部に移動せず、茎状部を通して上方へ移動した例は観察されていない。²⁾ ツルアラメでは、成長帯で吸収された ^{86}Sr , ^{137}Cs , ^{67}Co はいずれも類似の挙動を示し、葉状部先端の古い組織の方向 (上方) にはなく、基部や匍匐枝などの方向 (下方) に移動した。その後は、時間の経過に伴って匍匐枝を通して放射性同位体を投与していない他の葉状体の成長帯にまで達したが、それより上方へは移動せずに蓄積・濃縮したため、成長帯での

Fig. 4. Changes of radioactivity of 4 radioisotopes at the shaded portion, inoculated at the meristematic zone of the adult blade (A) or at the meristematic zone of the juvenile blade (B).

放射能が経時的に増加したものと推察される。

匍匐枝から新たな葉状部を形成するツルアラメでは、匍匐枝を通しての物質の移動は金属類に限らず、光合成産物や各種栄養塩も同様に移動し、繁殖に重要な役割を果たしているものと推察される。

これまでコンブ目植物における物質の転流は sieve

tube sap により髄層を通過して下方へ一方向的に行なわれると考えられていたが、¹⁾ ツルアラメでは一つの葉状部から匍匐枝を通過して他の葉状部へと、物質の上方への流れが認められた。このような物質の挙動について、今後その経路や機序を検討する必要がある。

Laminaria digitata では、 ^{32}P , ^{86}Rb , ^{35}S は移動するが、 ^{36}Cl , ^{99}Mo , ^{45}Ca は移動せず、物質によってその挙動には特異性があることが報告されている。¹⁾ 本研究のツルアラメでも、 ^{65}Zn の明瞭な移動は認められなかった。

なお、実験中に藻体を包んでいた何れの脱脂綿からも放射能は検出されなかった。したがって、本研究で用いた放射性同位体は藻体内を比較的短時間に長距離移動したものと考えられる。

文 献

- 1) J. Y. Floc'h: Uptake of inorganic ions and their long distance transport in Fucales and Laminariales, in "Synthetic and Degradative Processes in Marine Macrophytes" (ed. by L. M. Srivastava), Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1982, pp. 139-165.
- 2) M. A. Amat and L. M. Srivastava: Translocation of iodine in *Laminaria saccharina* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, 21, 330-333 (1985).
- 3) S. L. Manley: Micronutrient uptake and translocation by *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, 20, 192-201 (1984).
- 4) 川嶋昭二: 日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター, 札幌, 1989.
- 5) T. Ueda, Y. Suzuki, and R. Nakamura: Accumulation of Sr in marine organisms-I. Strontium and calcium contents, CF and OR values in marine organisms. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 39, 1253-1262 (1973).