



## 2.6.2 イネ科植物における $^{11}\text{C}$ -メチオニンの動態

中西啓仁<sup>1</sup>, Bughio Naimatullah<sup>1</sup>, 石岡典子<sup>2</sup>, 内田 博<sup>3</sup>, 辻 淳憲<sup>3</sup>, 松橋信平<sup>2</sup>,  
長 明彦<sup>2</sup>, 関根俊明<sup>2</sup>, 久米民和<sup>2</sup>, 森 敏<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 東大院・農学生命科学, <sup>2</sup> 原子力研究所, <sup>3</sup> 浜松ホトニクス)

$^{11}\text{C}$ -メチオニンの鉄欠乏 (-Fe) オオムギ体内での移行を PETIS(positron emitting tracer imaging system) 法により測定した。切断葉から吸収させた  $^{11}\text{C}$ -メチオニンはまず、葉基部の discrimination center へ移行し、その後、他の葉、特に新葉へ移行したが、根への移行はほとんどみられなかった。根から吸収を行った場合には、対照区 (+Fe) オオムギでは discrimination center へ迅速に移行した後、葉への移行も観察されたが、鉄欠乏植物では地上部への移行はほとんど観察されなかった。これは、オオムギが鉄欠乏時に鉄獲得のために根より放出するムギネ酸の前駆体としてのメチオニンが地上部から供給されているのではなく、根の中でメチオニンサイクルを通して供給されていることを示唆するものである。

### $^{11}\text{C}$ -methionine Translocation in Barley

Hiromi Nakanishi<sup>1</sup>, Naimatullah Bughio<sup>1</sup>, Noriko-Shigeta Ishioka<sup>2</sup>,  
Hiroshi Uchida<sup>3</sup>, Atsunori Tsuji<sup>3</sup>, Shinpei Matsushashi<sup>2</sup>, Akihiko Osa<sup>2</sup>,  
Toshiaki Sekine<sup>2</sup>, Tamikazu Kume<sup>2</sup> and Satoshi Mori<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,

<sup>2</sup>Japan Atomic Energy Research Institute, <sup>3</sup>Hamamatsu Photonics Co.

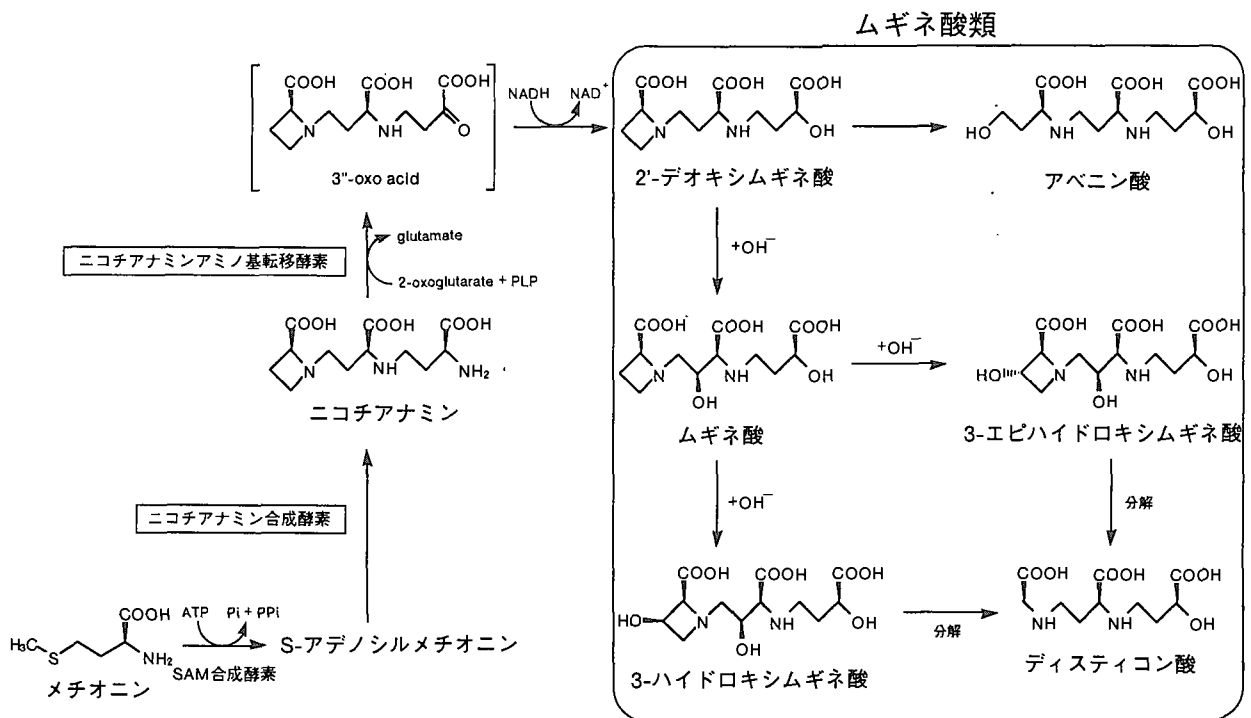
$^{11}\text{C}$ -methionine was supplied to barley plants through a single leaf or via the roots and real time  $^{11}\text{C}$  movement was monitored using a PETIS. In Fe-deficient plants,  $^{11}\text{C}$ -methionine was translocated from the tip of the absorbing leaf to the 'discrimination center' at the basal part of the shoot and then retranslocated to all the chlorotic leaves, while a negligible amount was retranslocated to the roots. In Fe-sufficient plants, methionine was translocated from the absorbing leaf to the discrimination center and then only to the newest leaf on the main shoot. A negligible amount was also retranslocated to the roots. Although, in Fe-sufficient plants, methionine translocation was observed from absorbing roots to shoots, in Fe-deficient plants, only a little amount was translocated from roots to shoots. In conclusion, methionine from the upper portion of a plant is not used as a precursor of mugineic acid under Fe-deficiency conditions.

Key words: barley,  $^{11}\text{C}$ -methionine, discrimination center, Fe-deficiency, mugineic acid, PETIS, phytosiderophore, root

1. はじめに

石灰質土壌のようなアルカリ土壌では、鉄が不溶態となり、植物に利用されにくくなっている。このような鉄欠乏条件下では、オオムギなどのイネ科植物においては三価鉄のキレーターであるムギネ酸類が根で合成され、分泌される[1]。ムギネ酸類はメチオニンを出発材料として生合成される(図1)[2][3]。この「根でのムギネ酸合成のためのメチオニンがどこから供給されるのか」ということは、ずっと問題であった。ここでわれわれは、オオムギ体内でのメチオニンの移行を<sup>11</sup>C-メチオニンを用いたPETIS(positron emitting tracer imaging system)法により明らかにした。実験に使用したオオムギは、コントロール条件(対照区)、鉄欠乏条件、鉄欠乏条件のものにコールドのメチオニンを与えて育てたもの、イオウ欠乏条件の4つである。これらに<sup>11</sup>C-メチオニンを経葉あるいは経根吸収させ実験を行った。

なお、PETIS法の詳細については「放射線と産業」誌80号(1998年)特集「植物のポジトロンイメージング」を参考にさせていただきたい。



2. 実験方法

播種後3~4週の水耕栽培したオオムギ (*Hordeum vulgare* L. cv. Ehimehadaka no. 1) を用いた。鉄欠乏処理は播種後3週間目より開始した。イオウ欠乏処理は実験の1週間前、メチオニン前処理は、鉄欠乏処理したものに実験の3日前よりコールドのメチオニンを水耕液に入れて行った。<sup>11</sup>C-メチオニンにより有機合成した<sup>11</sup>C-メチオニンをオオムギの根あるいは切断葉より吸収させた。<sup>11</sup>Cの移行はポジトロンイメージング装置により経時的に計測した。吸収実験の後、BAS1500により移行の結果も解析した。吸収の時間は1時間~1時間30分、BAS1500での露光(10~30分間)はPETIS観測後に行った。

3. 実験結果

3-1. 切断葉からの投与

図2に鉄欠乏オオムギを用いた場合の結果を示す。aが植物体、bがBASの像を示している。a、bの数字は対応する葉令を示している。切断葉から<sup>11</sup>C-メチオニンを入れると、2~3分で図に矢印で示した葉基部の'discrimination center'(以下d.c.と略す)に到達した[4][5]。<sup>11</sup>Cは5番の主茎の最新葉、1-2

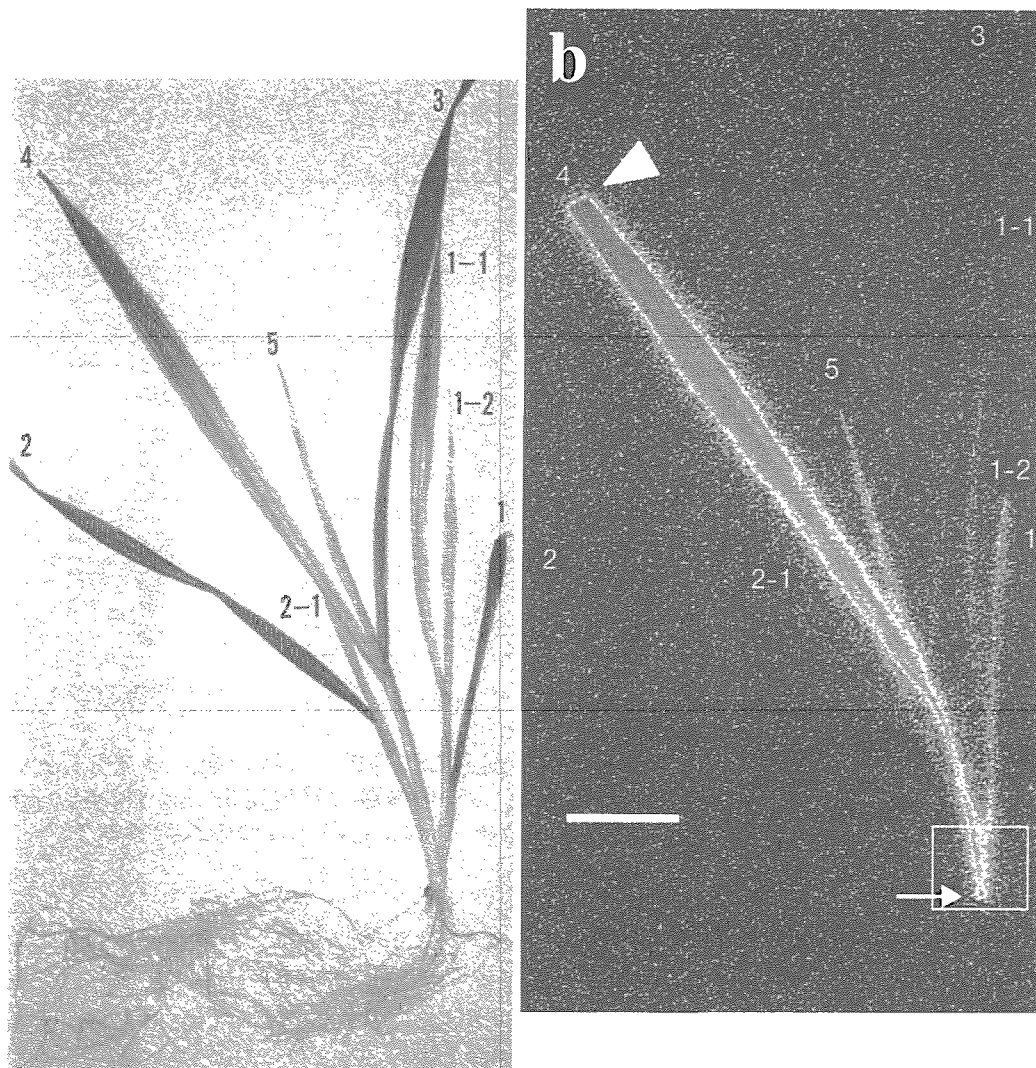


図2. 鉄欠乏オオムギにおけるメチオニンの経葉吸収.

a) 植物体, b) BASによるイメージ. 1, 2, 3葉には全く転流していない. 5, 1-1, 2-1などの新葉に転流している. 根には全く転流していない. 矢印で示した部位が discrimination center.

で示した第1分けつ最新葉などに多く移行した. これらの部位はもっとも強く鉄欠乏クロロシスを呈している部分である. 一方, 1, 2, 3で示した主茎の古い葉には全く移行しなかった. 根には投与後150分経っても $^{11}\text{C}$ は移行しなかった. このd.c.周辺の四角で囲った部分のPETIS法での画像を図3に示す. 図3bは実験を始めてから3分ごとの画像で, 約19分目あたりから像が検出された. 図3aは60分間の画像の集積像である. 図3cは図3aで示した1, 2, 3, 4各部位の放射能の経時的な値をグラフにしたものである. カーブ3, 2, 1は主茎であり, カーブ4が第1分けつの強くクロロシスを示している最新葉である.  $^{11}\text{C}$ -メチオニン投与後19分目から放射能がd.c.を経由した後, カーブ4に約25分頃頃から徐々に移行していた. コントロールオオムギの場合には, 葉の先端から10分以内にd.c.へ移行したが, 全体の葉への移行性が悪く, 主茎の最新葉にのみ移行した. 根への移行も観察されなかった[6].

### 3-2. 経根吸収

3つの実験の結果を以下に示す. 1) 鉄欠乏オオムギとコントロールオオムギとの比較, 2) 鉄欠乏オオ

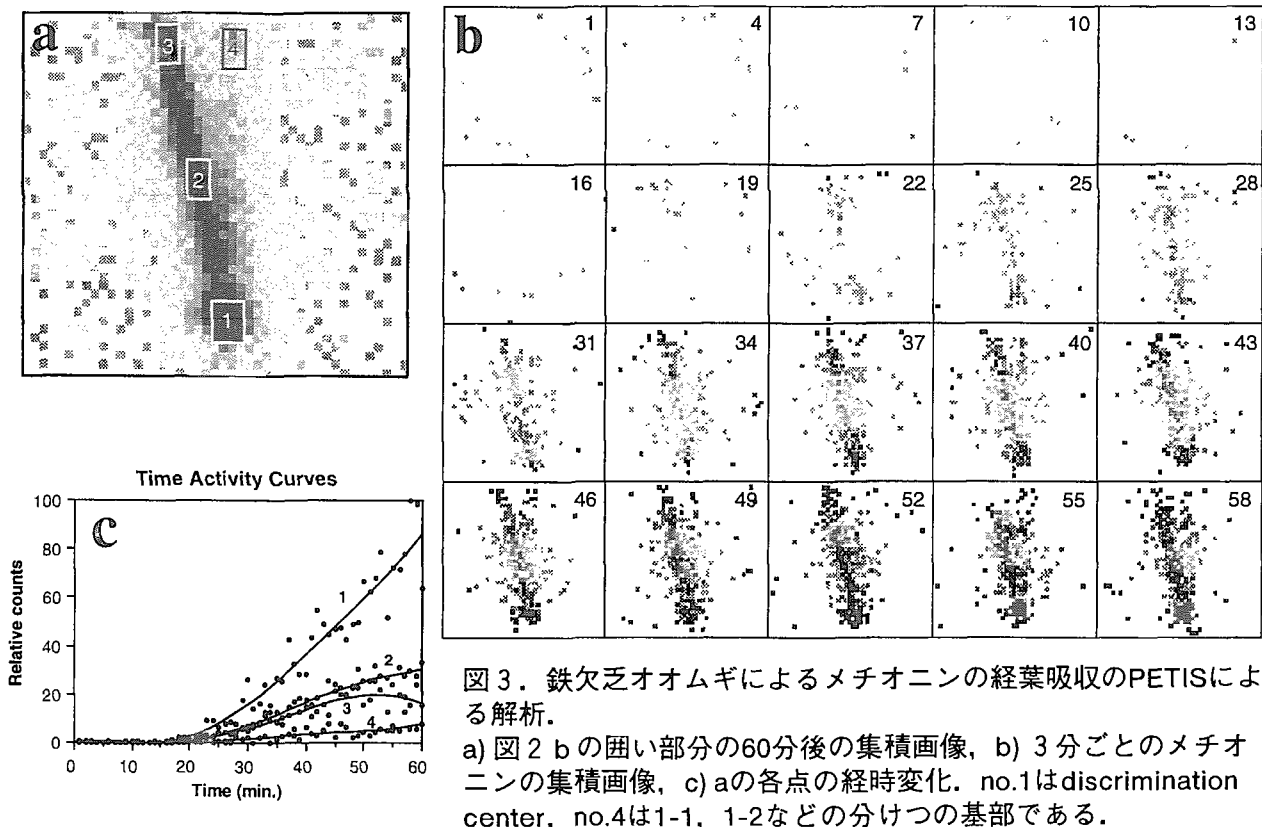


図3. 鉄欠乏オオムギによるメチオニンの経葉吸収のPETISによる解析。  
 a) 図2 b)の囲い部分の60分後の集積画像, b) 3分ごとのメチオニンの集積画像, c) a)の各点の経時変化. no.1はdiscrimination center, no.4は1-1, 1-2などの分けつの基部である.

ムギと<sup>11</sup>C-メチオニン吸収実験の3日前からコールドのメチオニン処理をした鉄欠乏オオムギとの比較, 3) 根のメチオニン濃度を下げるために実験前1週間イオウ欠乏処理を行ったオオムギとコントロールオオムギとの比較の3つである. 合成した<sup>11</sup>C-メチオニンを等量に分け, 2台のPETIS装置にそれぞれセットした2つの区の植物に同時に投与し, 実験・測定を開始した.

(1) コントロールオオムギ(control)と鉄欠乏処理オオムギ(-Fe)との比較(図4)

図4 b, dは根からの吸収のBASの像である. 90分間PETIS法で測定した後, 20分間BASで感光させた. コントロールオオムギでは, 最新葉を最大としてほぼすべての葉に<sup>11</sup>Cが移行したのに対して, 鉄欠乏処理では大部分が根にとどまり, 地上部への移行はわずかであったことがわかる. 図7 a)に示したPETISによるd.c.への集積の様子を見ると, コントロール, 鉄欠乏ともに吸収直後のd.c.への移行は迅速であるが, その後の移行の量に大きな違いがあることがわかる. 鉄欠乏処理ではコントロールの約16%にまで低下している. コントロールオオムギでは根でのメチオニンは十分に足りているのに対して, 鉄欠乏オオムギでは根中のメチオニンがおそらくはムギネ酸合成に使われているために, 地上部への移行はみられなかったものと考えられる.

(2) 鉄欠乏オオムギ(-Fe)とメチオニン前処理したオオムギ(-Fe +Met)との比較(図5)

鉄欠乏処理では<sup>11</sup>C-メチオニンの地上部への移行はほとんどみられなかったのに対し, 鉄欠乏処理を行ったものに<sup>11</sup>C-メチオニン吸収実験3日前からコールドのメチオニンを与えておいたものでは, <sup>11</sup>C-メチオニンの地上部への移行がみられた. すなわち, あらかじめ吸収させておいたコールドのメチオニンが根でのメチオニン不足をある程度補い, 余った分を地上部へと転流させているようである. d.c.への量も1.5倍増化した(図7 b).

(3) イオウ欠乏オオムギ(-S)とコントロールオオムギ(control)との比較(図6)

根内のメチオニン濃度を下げるためにコントロール栽培の水耕液からイオウを除いたもので1週間培養を行い, 実験を行った. <sup>11</sup>C-メチオニンを与えると, 吸収した根でまずメチオニンが利用され, 地上部への移行は減少した. この場合のd.c.への蓄積は約40%にまで減少した(図7 c).

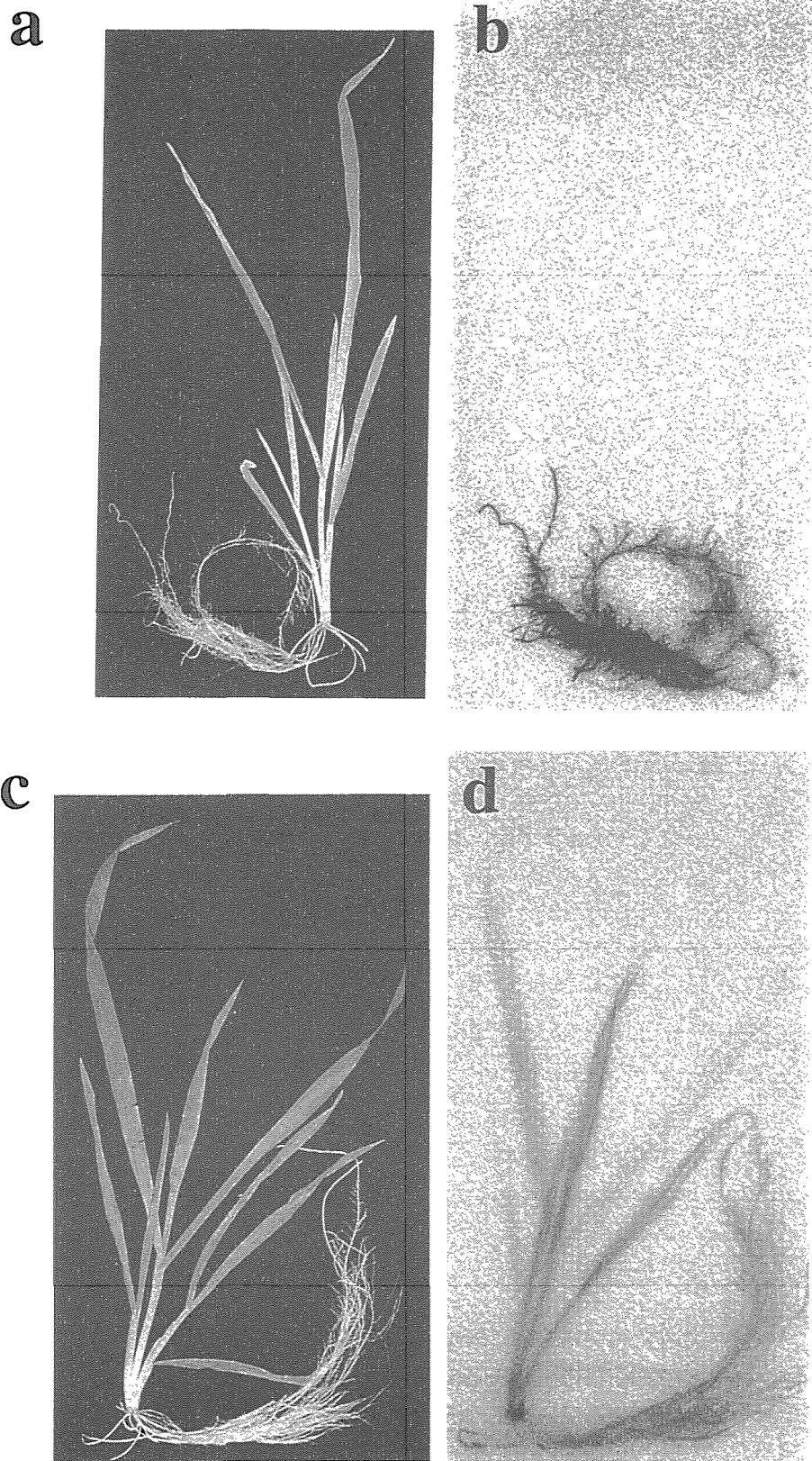


図4. 鉄欠乏オオムギへの経根吸収実験.  
a,b) 鉄欠乏オオムギ, a:植物体, b:BASによるイメージ  
c,d) コントロールオオムギ, c:植物体, d:BASによるイメージ

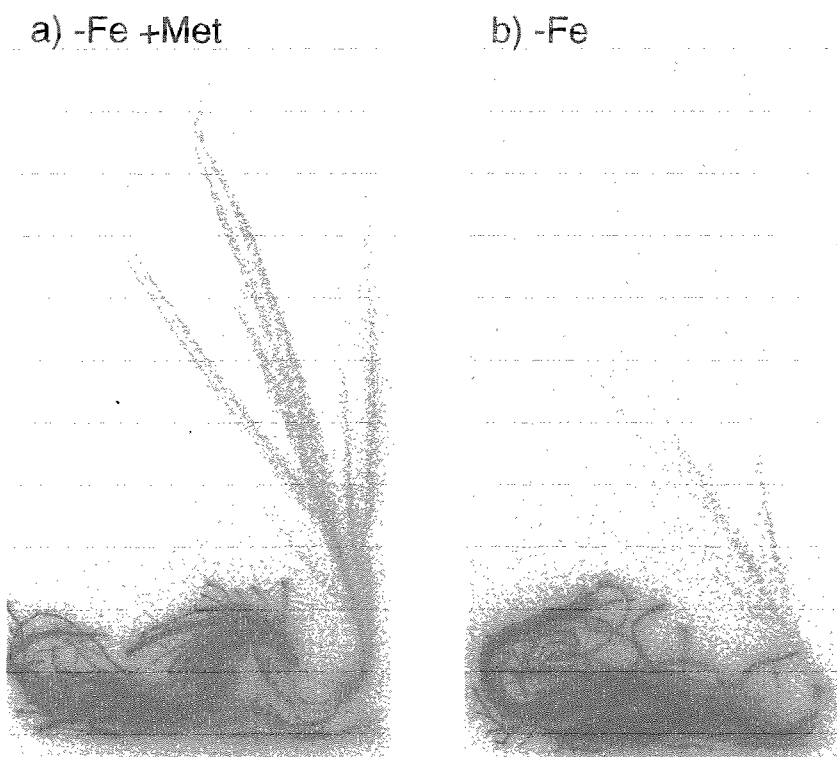


図5. 鉄欠乏オオムギをメチオニン前処理した時の $^{11}\text{C}$ -メチオニンの経根吸収.  
a) メチオニン前処理, b) 鉄欠乏処理のみ.

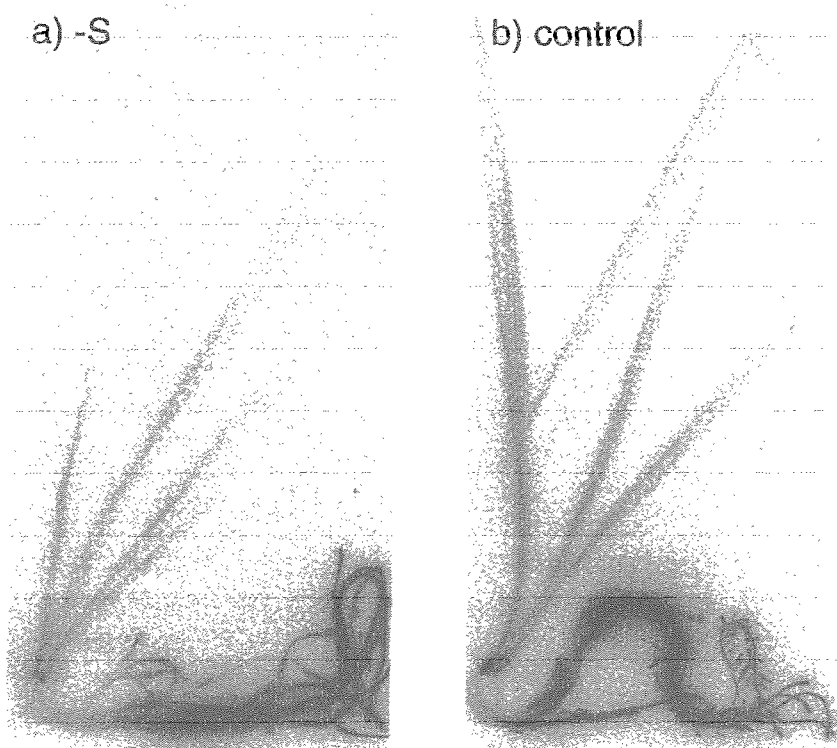


図6. 硫酸欠乏オオムギでの $^{11}\text{C}$ -メチオニンの経根吸収.  
a) 硫酸欠乏理, b) コントロール.

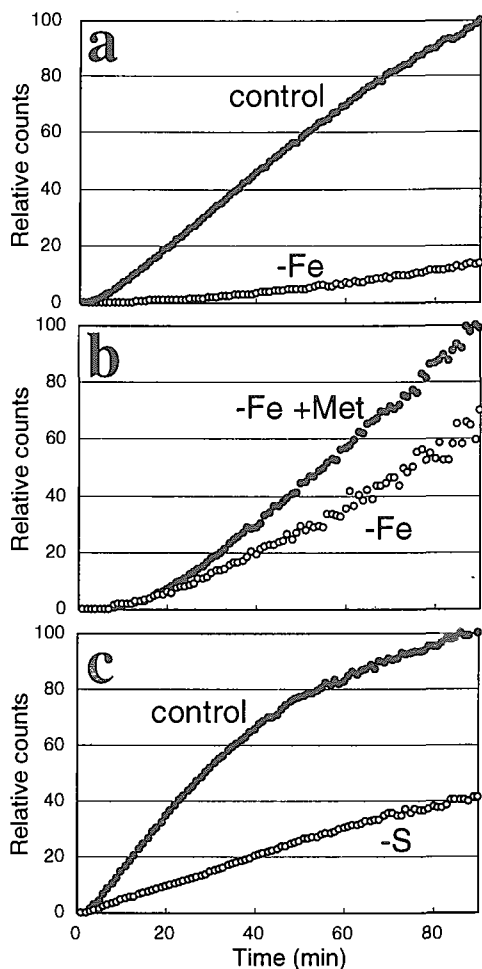


図7. 図4, 5, 6で示した各処理における discrimination centerでの放射能の経時変化。  
 a) 鉄欠乏処理,  
 b) 鉄欠乏処理+メチオニン前処理,  
 c) 硫酸欠乏処理。  
 グラフは各区での最大値を100として示した。

以上の3つの実験の結果から、根内のメチオニン濃度に応じて、地上部へのメチオニンの供給量が決定されていることがわかった。また、鉄欠乏処理が根内のメチオニン濃度を劇的に減少させていることから、鉄欠乏条件下ではムギネ酸合成のためのメチオニンの要求量が非常に大きいことがわかった。

#### 4. 結論

以上の結果をまとめると、以下のようになる。

- ①オオムギのd.c.には経根吸収、経葉吸収いずれの場合にも、もっとも急速に $^{11}\text{C}$ -メチオニンが取り込まれた。ここはイネ科植物体内でもっとも活発に代謝および転流が行われている部位と考えられる。
- ②経葉吸収の場合、鉄欠乏条件下ではクロロシスの葉に優先的に $^{11}\text{C}$ -メチオニンが取り込まれた。クロロシス新葉では鉄欠乏ストレスの結果、エチレンが多量に発生しているのかもしれない。なぜなら、メチオニンはエチレンの前駆体でもあるからである[7][8]。鉄欠乏処理の有無に関わらず、 $^{11}\text{C}$ -メチオニンは地上部から根部へはほとんど移行しなかった。
- ③根部から地上部への $^{11}\text{C}$ -メチオニン移行は根部内のメチオニンの要求量に応じて変化していた。鉄欠乏処理オオムギでは根部からのメチオニンは地上部へはほとんど移行せず、根でのメチオニンの要求量が非常に大きいことがわかった。したがって、根部のムギネ酸合成の前駆体としてのメチオニンは地上部からではなく、根内でYang Cycle(メチオニンサイクル)を介して供給されている[9]。
- ④本実験は高等植物のアミノ酸転流に関して世界で最初の動的な像を示したものである。

#### 参考文献

1. Takagi S (1976) Soil Sci Plant Nutr 22: 423.
2. Mori S, Nishizawa NK (1987) Plant Cell Physiol 28:1081.
3. Shojima S, Nishizawa NK, Fushiya S, Irifune T, Mori S (1990) Plant Physiol 93: 1497.
4. Mori S (1998) Iron transport and storage in microorganisms, plants and animals. Sigel A, Sigel H (eds), vol. 35 of Metal Ions in Biological Systems. 216.
5. 稲学大成 1巻(形態編) p.99 農文協.
6. Nakanishi H, Bughio N, Matsushashi S, Ishioka SN, Uchida H, Tsuji A, Osa A, Sekine T, Kume T, Mori S (1999) J Exp Bot (in press).
7. Yang SF, Hoffman NE (1984) Plant Physiol 35: 155.
8. Morgan PW, Hall WC (1962) Physiologia Plantarum 15: 420.
9. Ma JM, Nomoto K (1993) Plant Physiol 102: 373.