



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | アスパラガスの性状に関する研究 : (第3報) ソイル・ブロック分割法による12年生株の根系調査                                  |
| Author(s)        | 八鍬, 利郎; YAKUWA, Toshiro; 原田, 隆 他  |
| Citation         | 北海道大学農学部邦文紀要, 13(3), 433-440  |
| Issue Date       | 1982-11-10  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/11984">https://hdl.handle.net/2115/11984</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 13(3)_p433-440.pdf  |



アスパラガスの性状に関する研究  
(第3報) ソイル・ブロック分割法による12年生株の根系調査

八 鍬 利 郎 ・ 原 田 隆

(北海道大学農学部果樹・蔬菜園芸学教室)

高 橋 義 雄 ・ 田 村 春 人 ・ 秋 南 栄 一

(北海道大学農学部附属農場園芸第一部)

山 谷 吉 蔵

(北海道立中央農業試験場)

大 矢 根 敏 夫

(上川北部農業改良普及所)

佐 藤 滋 樹 ・ 皆 川 裕 一

(北海製缶株式会社缶詰研究所)

山 川 潔

(北海道アスパラガス協会)

(昭和57年4月30日受理)

Studies on the Botanical Characteristics of Asparagus Plant

III. Observation on the root system of 12-year-old plants  
by 'soil-blocking method'

Toshiro YAKUWA and Takashi HARADA

(Department of Horticulture, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Yoshio TAKAHASHI, Haruto TAMURA  
and Eiichi AKIMINAMI

(Experiment Farm, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Kichizo YAMAYA

(Hokkaido Central Agricultural Experiment Station,  
Naganuma-cho, Hokkaido, Japan)

Toshio OHYANE

(Kamikawa-Hokubu Agricultural Extension Station,  
Nakagawa-cho, Hokkaido, Japan)

Shigeki SATO and Yuichi MINAGAWA

(Canning Research Institute, Hokkai Can Co. Ltd, Sapporo, Japan)

Kiyoshi YAMAKAWA

(Hokkaido Asparagus Association, Sapporo, Japan)

結 言

前報<sup>4)</sup>ではアスパラガスの一つの株を対象として、そ

の根がどのように分布しているかを綿密に調査した結果を述べた。しかし、生産を目的として栽培されている圃場においては、隣接している株の根が複雑に交錯し合っ

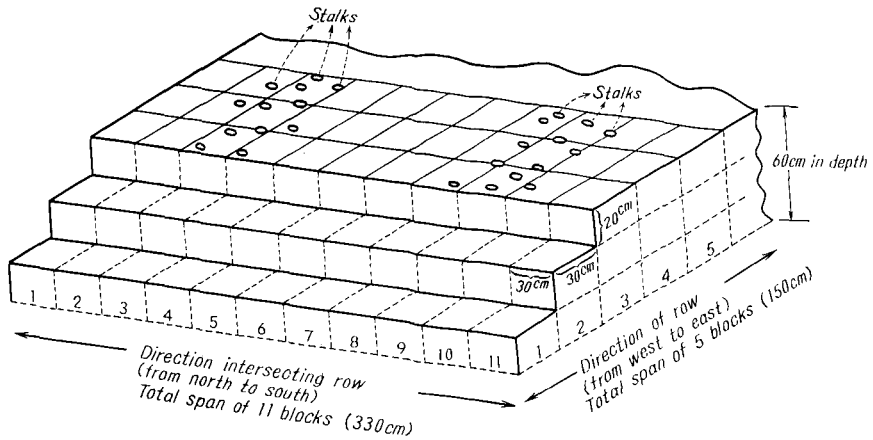


Fig. 1. Method of blocking of soil.

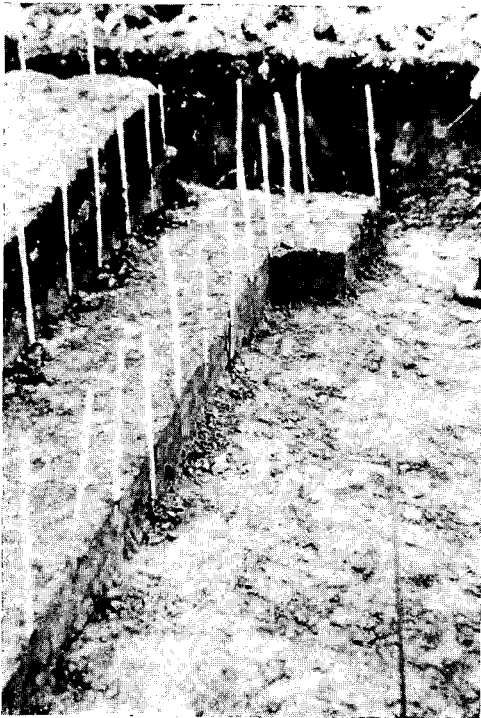


Fig. 2. Photographical representation of experimental method.

ているので、施肥や土壌改良を行なう場合には畦間、株間で根がどのような分布をしているかということが重要である。この点を明らかにするため、本報では2畦、数株を含む圃場の一角を細かく区分し、各ブロックごとの根数と根重により根の分布を調べたので、その結果について報告する。

### 材料および方法

北海道岩内郡共和町発足における福森成雄氏所有のアスパラガス圃場(品種:メリーワシントン, 12年生)を対象として調査を行った。この圃場は、東西方向の畦で畦幅175 cm, 株間36 cmに栽植してあり、毎年培土を行いホワイトアスパラガスを収穫している。

調査は培土くずし後の1976年7月29日および30日に行った。すなわち、圃場の一角を選び、2畦が入るように南北の方向に330 cm, 東西(畦)の方向に150 cmとり、この部分をFig. 1, 2に示すように縦、横30 cm, 厚さ20 cmのブロックに区画して3層(深さ60 cm)まで合計165ブロックを切り取り、各ブロックごとに土壌を取り除き、地下茎と根をていねいに洗い出して調査した。

根の調査に当っては貯蔵根(太さ約3~5 mmで表皮は淡褐色)、細根(太さ1~2 mmで白色、側根多く別名吸収根といわれる部分)、枯根(貯蔵根が空洞化し褐色または黒色となったもの)に区分し、その本数と重量を調査した。この調査時の草丈は平均191 cmであった。

なお、この圃場の土質は地表下27 cmが黒い崩積土で、その下層は褐色~灰褐色の埴壤土又は埴土であり、地下水位は表面下90 cmであった。

### 実験結果

#### 1. 地下茎の分布

地下茎が含まれていたブロックについて、それぞれの地下茎の重量を示すとTable 1のとおりであった。地下茎は主として地表下10~20 cmの深さにあり、幅は3ブロックに亘って存在している部分が多かった。また、

**Table 1.** Weight of rhizomes in each block, values are presented by gram

|   |   | Mark of blocks in the direction of intersecting row |    |       |     |   |   |   |     |     |       |    |
|---|---|---|----|-------|-----|---|---|---|-----|-----|-------|----|
|   |   | 1   | 2  | 3     | 4   | 5 | 6 | 7 | 8   | 9   | 10    | 11 |
| Mark of blocks in the direction along the row | 1 | —   | 80 | 1,044 | 294 | — | — | — | 647 | 462 | 122   | —  |
|   | 2 | —   | 60 | 39    | 797 | — | — | — | 447 | 495 | 1,073 | —  |
|   | 3 | —   | —  | 480   | 512 | — | — | — | 275 | 980 | 371   | —  |
|   | 4 | —   | 90 | 900   | 697 | — | — | — | —   | 110 | 101   | —  |
|   | 5 | —   | —  | 590   | 650 | — | — | — | 100 | 653 | 210   | —  |

(0-20 cm in depth)

畦の方向では各ブロックに連続して存在しており、1株ずつの区別はつけにくくなっている。これらの地下茎の総重量は12,279 gとなり、1株平均1,535 gで、これを10 a 当りに換算すると約2,480 kgとなる。

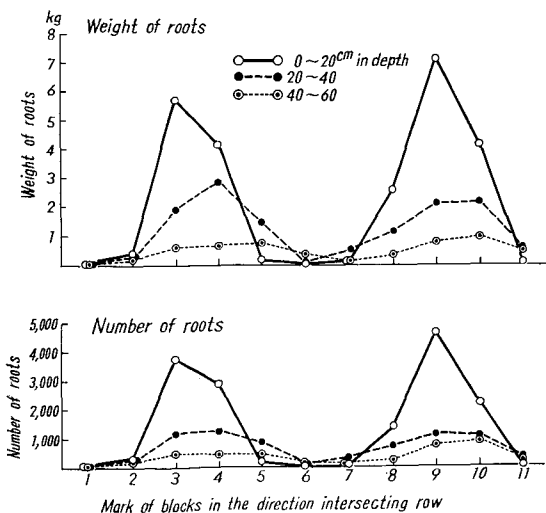
**2. 畦間および株間における根の分布密度**

Fig. 3 は根の畦間分布をみるため、Fig. 1 の畦方向(東西方向)の5ブロックずつの貯蔵根、細根、枯根の合計値によって根数と根重を図示したもので、上層(深さ0~20 cm)では根の密度に著しい差が認められ、下層になるにつれて畦と畦間との根の分布が平均化しているのが分かる。すなわち、上層では地下茎の存在する畦の部分の根数が極めて多く、明瞭なピークを示し、それから離れるほど根が少なくなり、畦間では根数0かそれに近い数値となっている。中位層(深さ20~40 cm)でも上層

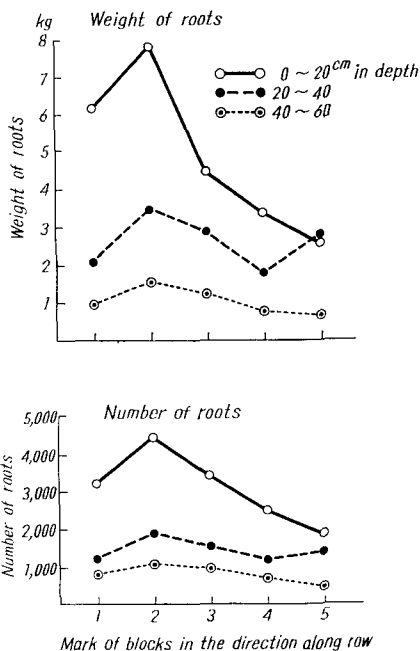
と同じ傾向がみられるが、畦中心部の根数は上層の半分以下となり、ピークはそれほどはっきりしなくなっている。下層(深さ40~60 cm)の畦部の根数は中位層より更に減少し、畦と畦間の差も平均化している。

根重についてみると、上層、中位層、下層の差が根数以上に明瞭に現われている。すなわち、畦の部分の根重は上層で最も高く、明瞭なピークを示すが、中位層になると上層の1/2程度となり、下層はさらにその1/2以下になっている。また、畦間では根の絶対量が少なく、上層と下層の差もほとんど認められない。

つぎに、南北方向(畦と直角の方向)の11ブロックず



**Fig. 3.** Number and weight of roots in each portion of soil under row and row space.



**Fig. 4.** Number and weight of roots in each portion of soil under intrarow spacing.

**Table 2.** Number and weight of storage roots in each blocks

Values in upper line: number of roots

Values in under line: weight of roots (g)

## Upper stratum (0-20 cm in depth)

|   |   | Mark of blocks in the direction of intersecting row |           |              |              |          |        |          |              |              |              |        |
|---|---|---|-----------|--------------|--------------|----------|--------|----------|--------------|--------------|--------------|--------|
|   |   | 1   | 2         | 3            | 4            | 5        | 6      | 7        | 8            | 9            | 10           | 11     |
| Mark of blocks in the direction along the row | 1 | 0<br>—  | 54<br>150 | 906<br>2,133 | 340<br>611   | 2<br>2   | 0<br>— | 19<br>40 | 376<br>1,177 | 634<br>1,277 | 190<br>488   | 0<br>— |
|   | 2 | 0<br>—  | 53<br>101 | 752<br>1,108 | 592<br>1,241 | 18<br>20 | 0<br>— | 12<br>42 | 335<br>880   | 853<br>2,120 | 684<br>1,886 | 3<br>5 |
|   | 3 | 0<br>—  | 24<br>34  | 274<br>596   | 400<br>500   | 30<br>36 | 0<br>— | 1<br>1   | 94<br>137    | 474<br>1,336 | 234<br>510   | 7<br>5 |
|   | 4 | 0<br>—  | 14<br>25  | 535<br>840   | 505<br>1,091 | 17<br>15 | 0<br>— | 0<br>—   | 43<br>65     | 191<br>520   | 132<br>224   | 0<br>— |
|   | 5 | 0<br>—  | 4<br>3    | 177<br>256   | 318<br>430   | 6<br>5   | 0<br>— | 0<br>—   | 11<br>10     | 404<br>812   | 282<br>590   | 1<br>1 |

## Medium stratum (20-40 cm in depth)

|   |   |        |          |            |              |            |          |           |            |            |            |           |
|---|---|--------|----------|------------|--------------|------------|----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| Mark of blocks in the direction along the row | 1 | 1<br>3 | 26<br>70 | 167<br>355 | 84<br>240    | 35<br>96   | 2<br>6   | 69<br>130 | 153<br>373 | 68<br>254  | 96<br>265  | 19<br>43  |
|   | 2 | 0<br>— | 32<br>89 | 155<br>433 | 135<br>244   | 72<br>202  | 21<br>39 | 67<br>236 | 151<br>371 | 191<br>595 | 209<br>619 | 95<br>265 |
|   | 3 | 0<br>— | 8<br>9   | 89<br>202  | 167<br>385   | 125<br>452 | 15<br>28 | 29<br>72  | 69<br>166  | 134<br>543 | 112<br>554 | 38<br>95  |
|   | 4 | 0<br>— | 3<br>4   | 82<br>186  | 177<br>466   | 86<br>260  | 0<br>—   | 1<br>1    | 39<br>65   | 107<br>265 | 98<br>259  | 1<br>1    |
|   | 5 | 0<br>— | 16<br>35 | 124<br>363 | 297<br>1,262 | 73<br>153  | 0<br>—   | 1<br>1    | 2<br>3     | 88<br>190  | 91<br>253  | 1<br>3    |

## Under stratum (40-60 cm in depth)

|   |   |         |          |           |           |           |           |          |          |            |            |           |
|---|---|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|------------|------------|-----------|
| Mark of blocks in the direction along the row | 1 | 7<br>11 | 39<br>74 | 88<br>172 | 35<br>73  | 19<br>36  | 3<br>2    | 11<br>16 | 49<br>95 | 63<br>144  | 62<br>135  | 17<br>33  |
|   | 2 | 0<br>—  | 24<br>49 | 66<br>133 | 49<br>90  | 44<br>108 | 25<br>87  | 27<br>65 | 68<br>92 | 105<br>228 | 81<br>207  | 62<br>282 |
|   | 3 | 0<br>—  | 2<br>5   | 33<br>112 | 62<br>128 | 48<br>188 | 30<br>70  | 12<br>10 | 18<br>62 | 89<br>145  | 135<br>248 | 21<br>76  |
|   | 4 | 0<br>—  | 0<br>—   | 44<br>67  | 82<br>224 | 67<br>119 | 5<br>16   | 1<br>1   | 11<br>11 | 71<br>90   | 56<br>83   | 3<br>6    |
|   | 5 | 0<br>—  | 0<br>—   | 13<br>29  | 1<br>4    | 40<br>174 | 31<br>108 | 0<br>—   | 0<br>—   | 66<br>81   | 55<br>115  | 5<br>3    |

つの貯蔵根、細根、枯根の合計値で根の株間分布を示すと Fig. 4 のとおりで、畦と畦間でみられたような山と谷の規則的な変化はみられず、どの部分も相当量の根が分布している。また、深さ別にみると上層が最も多く、中層部がこれにつき、下層部が最も少ない。

以上の数値は貯蔵根、細根および枯根の合計値であるが、これら3種のうち最も根量多く、根系を代表している貯蔵根について各ブロックごとの数値を示すと Table 2 のとおりである。1ブロックに認められた根量の最高値は上層の畦部にあるブロックでみられ、根数906本、根重2,133gであった。中位層の最高は根数293本、根重1,262gで、下層の最高は根数135本、根重248gとなっている。また、根が1本も含まれていなかったブロックは上層の畦間で14ブロック、中位層で6ブロック、下層で8ブロック認められた。

3. 根の種類別分布割合

各層における根の種類別分布割合は Fig. 5 に示すとおりである。まず根数についてみると、どの深さでも貯蔵根が50%以上で最も多く、全層合計では貯蔵根60.6%、枯根26.6%、細根12.8%の順である。また、貯蔵根と枯根は下層になるに従って根数が減り、細根は逆に下層ほど増えている。根重では根数よりも種類別の差が大きく、貯蔵根の占める割合はどの層でも85%以上

ではば一定である。枯根は下層になるに従って減少し、細根は逆に増加している点も根数におけるのと同じ傾向である。全層の合計では貯蔵根重(86.9%)、枯根重(9.9%)、細根重(3.2%)の順となっている。

つぎにそれぞれの根について層別分布をみると Fig. 6

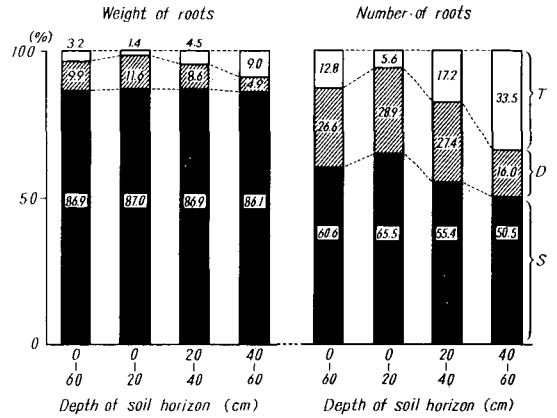


Fig. 5. Ratio of weight and number of storage roots, dead roots and thin roots in each stratum.

S : Storage roots  
D : Dead roots  
T : Thin roots

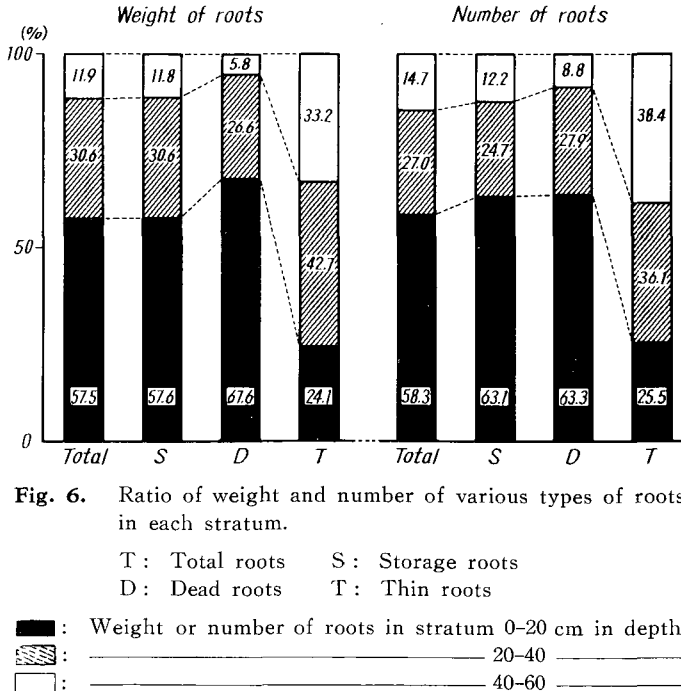


Fig. 6. Ratio of weight and number of various types of roots in each stratum.

T : Total roots S : Storage roots  
D : Dead roots T : Thin roots

■ : Weight or number of roots in stratum 0-20 cm in depth  
▨ : 20-40  
□ : 40-60

のとおりである。まず貯蔵根について根数をみると上層部 63.1%, 中層部 24.7%, 下層部 12.2% の順で上層部に最も多い。枯根についてもほぼ貯蔵根と似た傾向がみられる。しかし、細根は下層部に最も多く(38.4%), 中層部がこれに次ぎ(36.1%), 上層部が最も少ない(25.5%)。すべての根の合計では上層部(58.3%), 中層部(27.0%), 下層部(14.7%)の順となっている。根重についても根

数には近い傾向を示すが、細根は中層部が最も大きく(42.7%), 次いで下層部(33.2%), 上層部(24.1%)の順となっている。

#### 4. 10 a 当りの根の量

以上の掘り上げ調査の結果から 10 a 当りの数値に換算してみると Table 3 のとおりで、地下茎は 2,480 kg, 地表下 60 cm までの総根重 8,509 kg となる。

**Table 3.** Weight of rhizomes and roots  
Values were converted into those per 10 a and presented by kilogram

|                         | Depth of stratum |                 |                 |                |
|-------------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
|                         | 0~20 cm          | 20~40 cm        | 40~60 cm        | Total          |
| Weight of rhizomes      | 2,480            | —               | —               | 2,480          |
| Total weight of roots   | 4,895<br>(57.5)  | 2,604<br>(30.6) | 1,010<br>(11.9) | 8,509<br>(100) |
| Weight of storage roots | 4,259            | 2,263           | 870             | 7,392          |
| Weight of dead roots    | 570              | 224             | 49              | 843            |
| Weight of thin roots    | 66               | 117             | 91              | 274            |

根の種類別にみると、貯蔵根 7,392 kg, 枯根 843 kg, 細根 274 kg となる。

なお、根数については、本調査の場合はブロックごとに切断して数えているので、1本の根であっても二つ以上のブロックにまたがって伸長している場合はそれぞれのブロックで数えられていることになり、その総計が実際の根数と解釈する訳にはいかない。したがって本表においては根数についての記載を省略した。

#### 考 察

アスパラガスの根系について調査する方法はいろいろ考えられるが、従来の報告をみると1株の植物体についていねいに掘り取る方法が採られている<sup>1-3)</sup>。筆者らも前報<sup>4)</sup>においてこの方法を採用し、3年生株と6年生株がどの程度の地下部の発育を示しているかを明らかにした。しかし、実際問題として施肥や深耕を行なう場合は、畦のどの部分をどの程度の深さに掘ると断根を最小限にとどめ、しかも大きな効果をあげることが出来るかなどが重要な問題となり、そのためには畦と畦間に根がどのように分布しているかを圃場全体として把握することが望まれる。本報告はこの観点から数株を含む圃場の一角を掘り上げて根系の相互分布を調査したもので、つぎのような点が明らかとなった。

まず、地下茎の分布についてみると、すべての地下茎が地表から 20 cm までの上層部に存在したことから、12年生の株でも地下茎はそれほど厚みはもたず、その下端が 20 cm より深くには達していないことが分かる。地下茎は茎を地上部に伸ばしながら少しずつ水平方向に伸長する。この地下茎の伸長方向は一方向のみではなく、年が経過するに従って地下茎の各部に鱗芽群が形成されるため、いろいろの方向に伸長していわゆる株が広がっていく<sup>4)</sup>。したがって、本調査の対象株においても地下茎の存在する幅は3ブロックに亘っている部分が多かった(Table 1)。また、株間は事実上明確には認められず、畦下のブロックでは連続して地下茎が認められた。

JONES<sup>1)</sup>は15年生株で、地下茎は径 60 cm あるいはそれ以上に広がる述べているが、今回の調査でもほぼ一致することが確認されたことになる。

根の分布については畦と畦間との間に顕著な差がみられ、特に上層では畦の中心部に分布する根が多く、畦間では根の存在しないブロックもかなり認められた。しかし、中位層、下層になるに従って根数が減るとともに、畦と畦間との分布が平均化されている。これは畦間では上層部を水平方向に伸長する根がほとんどなくて、下方または斜め下方に伸長していることを示すものといえよう。本調査を行った圃場は毎年春に培土を行っているの

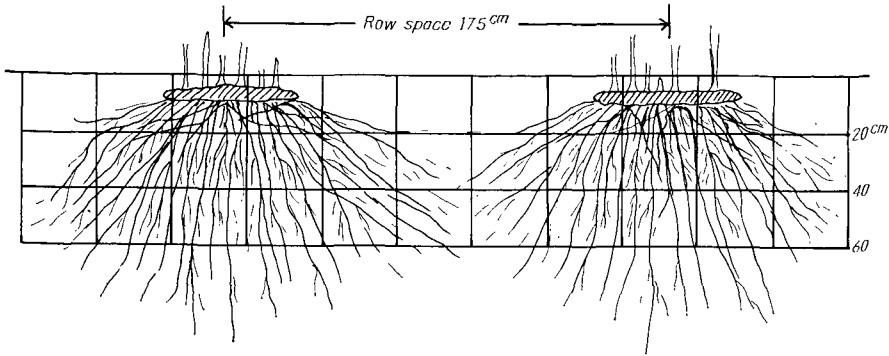


Fig. 7. Typical diagram of asparagus root system in soil under row and row space.

で、畦間の上層部はその都度掘り上げられることになり、この部分に根がほとんど伸長していないことはむしろ当然と考えられる。この点についてはグリーンアスパラガスを収穫している圃場についても調査する必要がある。根の株間分布については Table 2 にみられるように、畦の中心部ではどのブロックにも相当量の根が認められたが、これは Table 1 で明らかなように、畦部ではどのブロックにも地下茎が存在することから考えるとむしろ当然といえよう。なお、Fig. 4 で左側の 1, 2 ブロックが根量多く、右側ほど少なくなっているが、これは規則的な傾向ではなく、たまたま 1 および 2 の部分に存在した株が特に発育のよい株であったためと考えられる。以上述べた畦間、株間の地下茎および根の分布から根系の模式図を画くと Fig. 7, 8 のとおりである。

根の種類別分布割合は Fig. 5, 6 に示したとおりで、層別に見た場合どの層においても貯蔵根の占める割合が大きい、その率は根数より根重において著しく高くなっている。これは貯蔵根が最も太く、しかも内容も充実しているためで、内部がほとんど空になっている枯根や、貯蔵根より細い細根に比べると根重で貯蔵根が特に大きい数値となるのは当然といえよう。

根の種類別にみた層別分布割合については、貯蔵根と枯根は上層部に最も多く分布し、中層部、下層部と深い部分ほど少なくなっているのに対し、細根のみは上層より中、下層に多い傾向がみられた。枯根は貯蔵根が古くなり、貯蔵養分が消費されて中空となったものであるから、貯蔵根の多く存在する部分に多く分布するのは当然であろう。また、本調査で区別した細根とは、貯蔵根の先端が次第に細くなって白色を呈している部分を意味するものであるから、細根の分布が貯蔵根の分布より平均して下層に多くなるのも当然といえる。

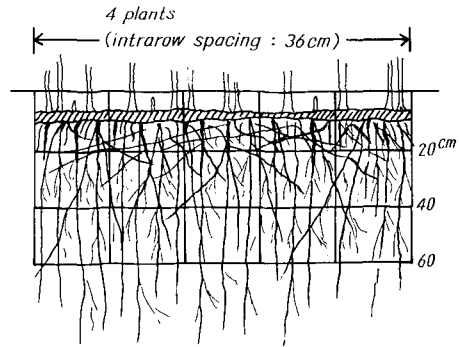


Fig. 8. Typical diagram of asparagus root system in soil under intrarow spacing.

以上は、ホワイトで収穫している 12 年生株についての調査結果の一例に過ぎないが、この圃場の場合は畦間をある程度の深さまで掘っても断根による被害はそれ程大きくはないように考えられる。つまり、毎年行っている培土作業による断根の影響はほとんどないであろう。一方、培土くずし時に畦間のみ施肥しても、その効果は全根域に及ぶものとは考えられず、施肥位置や施肥量、土質改良などについてのより効果的な方法について検討を加えることが望まれる。今後さらに主産地を中心に同様の方法で調査を繰返し行ない、根系の実態明らかにしていきたいと考えている。

#### 摘 要

アスパラガスの根系、特に畦間、株間における根の分布を明らかにするため、12 年生のアスパラガス圃場の一角 (330 cm × 150 cm) を 30 cm × 30 cm × 20 cm のブロック 165 に区画して掘り取り調査した。その結果の概要はつぎのとおりである。

(1) 地下茎は地表下10~20 cmの深さにあり、幅は2~3ブロック(60~90 cm)に亘って存在していた。株間では、相互の地下茎が交錯し連続して存在した。10a当りに換算した地下茎重は約2,480 kgであった。

(2) 上層部においては畦部のブロックに多数の根が認められ、畦間のブロックには全くないか少量の根しか認められなかった。下層部では根量が上層よりはるかに少なく、畦と畦間との差が平均化されていた。この結果からアスパラガスの根はいろいろの角度で放射状に広がり下方または斜め下方に伸長しており、畦部上層で特に密度が高く分布していることが明らかとなった。

(3) 根を貯蔵根、枯根、細根に分類して各層ごとの分布割合をみると、どの層でも貯蔵根が最も多く、全層を合計した根重は10a当り貯蔵根7,392 kg (86.9%)、枯根843 kg (9.9%)、細根274 kg (3.2%)であった。また、10a当り根重の層別分布をみると、深さ0~20 cmの上層部で4,895 kg (57.5%)、深さ20~40 cmの中層部で2,604 kg (30.6%)、深さ40~60 cmの下層部では1,010 kg (11.9%)となる。なお、枯根は貯蔵根と分布が似ており、細根は上層部より下層部に多かった。

#### 謝 辞

本研究の実施に際し、調査圃場を提供され、種々便宜を与えて下さった北海道共和町発足、福森成雄氏、ならびに調査に当って種々御協力をいただいた日本アスパラガス株式会社に深甚な謝意を表します。

#### 引用文献

1. JONES, H. A. and ROBBENS, W. W.: Growing and handling asparagus crowns, *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 381: 1-24. 1924
2. SCOTT, L. E., MITCHELL, J. H. and MCGINTY, R. A.: Effects of certain treatments on the carbohydrate reserves of asparagus crowns, *South Carolina Agr. Exp. Sta. Bull.* 321: 5-36. 1939
3. WEAVER, J. E. and BRUNER, W. E.: Root development of vegetable crops, 1st ed., p. 59-69. McGraw-Hill Book Comp. Inc., London, 1927
4. 八鍬利郎・原田 隆・高橋義雄・田村春人・秋南栄一・多賀辰義・山谷吉蔵・佐藤滋樹・山吹一芳・山川 潔: アスパラガスの性状に関する研究(第2報) 3年生及び6年生株の根系について, 北大農邦文紀, 13: 102-108. 1982

#### Summary

The root system of 12-year-old asparagus plants were observed in order to clarify the distribution of roots in soil under the row and row space in field for commercial production. The survey was carried out by the following method. First, a rectangle with 2 sides of 330 cm and 150 cm was drawn on the soil surface in an area of field. Eight asparagus plants were included in the rectangle. Then, 165 blocks of soil with 3 edges of 30 cm, 30 cm and 20 cm were dug up carefully from soil under the rectangle as shown in Fig. 1. All roots included in each block were washed with water and were observed. The experimental results are summarized as follows:

1. In this experiment, most of all rhizomes were 10-20 cm in depth in relation to vertical distribution, while in width of a span of 2 or 3 blocks (60-90 cm) and in every block under rows in relation to horizontal distribution. Weight of the rhizome converted into value of 10a was about 2,480 kg.

2. In a shallow stratum, a large number of roots were observed in the blocks at the center of row, and none or few roots were observed in the blocks under the center of the row space. In the lower stratum, the number of roots were small and approximately uniform under both the row and row space. From this result, it was clarified that the roots of asparagus elongate radially toward the lower stratum with various angles and were found crowded in a shallow stratum under the row.

3. The number of storage roots was extremely larger than those of dead roots or thin roots in each stratum. The weight of the roots per 10a was 7,392 kg (86.9%) in storage roots, 843 kg (9.9%) in dead roots and 274 kg (3.2%) in thin roots. The total weight of these roots per 10a was 4,895 kg (57.5%) in a stratum 0-20 cm in depth, 2,604 kg (30.6%) in a stratum 20-40 cm in depth and 1,010 kg (11.9%) in a stratum 40-60 cm in depth.

The distribution of dead roots was similar to that of the storage roots, and the number of thin roots in lower stratum was larger than that of the shallow stratum.