

水稻における根の形成と貯蔵物質動態に関する形態機能学的研究  
新田洋司 (福島大学食農学類)

水稻の成長と物質蓄積・動態の解明は、高品質・高収量・安定生産の栽培制御に必要な不可欠である。新田洋司氏は、光学顕微鏡・走査電子顕微鏡を用いて先鋭的な形態学的手法を開発・改良し、水稻における根の形成や貯蔵物質の蓄積と動態について“可視的”知見を得、器官・組織・細胞の形態を明らかにし、機能への寄与と連関を解明した。その成果は、広く生産現場の現象解明に顕著な貢献をした。それらの成果は以下のように要約される。

1. 水稻の根の形成に関する形態学的・生態学的解析

(1) イネ器官の内部形態を立体的に観察するためのパラフィン切片法の改良

光学顕微鏡観察に供するパラフィン切片法は、横断面の像を上・下に連続して観察が可能で立体像を把握することができるが、イネの茎や直径の大きな根などは組織が硬いため、アーティファクトを発生させずに観察することは困難であった。そこで新田氏は、硬度が異なる茎や根の軟化方法（フッ化水素溶液処理法、煮沸法、グリセリン溶液処理法）をイネに初めて導入し、生育時期や茎や根の硬さによって3つの方法を使い分け、アーティファクトを最小限に抑えてパラフィン切片法による連続横断切片の作成に成功し、光学顕微鏡による観察と解析方法を確立した（業績16）。

(2) 水稻における冠根の形成部位の解析

上記1.(1)で確立した方法により、水稻の冠根が形成されるとみられるすべての位置を対象として、冠根原基の形成部位と形成数を観察した。その結果、水稻において、節横隔壁形成部の頂端側と基部側に冠根原基が形成されるとした従来の学説（節根説、要素根説）は、実際の冠根原基の形成の様相に整合しないことを明らかにした（業績1, 2, 3, 6, 7, 8）。

これらの成果はその後、他の研究者による知見とも整理されて、ファイトマーを単位とした理論と構造理解に帰着した。

(3) 水稻における冠根の原基形成に関する品種間差異と栽培制御の影響

上記1.(1)と(2)において確立した技術・方法と新規知見より、水稻における冠根形成の品種間差異と栽培制御の影響が検討された。その結果、品種間差異では、主茎における冠根原基形成数は分けつ数および個体当たりの出現冠根数の多い品種ほど多いこと（業績4）、他方、深水下の特殊環境下で伸長茎部の節部付近から“太い冠根”と“細い冠根”とを出現させて生育する浮稲では、“太い冠根”が非浮稲（ふつうの水稻）にはない特異的な形態の原基によって形成されることを明示した（業績9）。一方、栽培制御では、水稻の栽培で不明であった移植苗の植傷み—活着過程における冠根原基形成の動態について稚苗を用いて検討した。その結果、移植により断根された稚苗は、断根されない場合よりも冠根原基が形成される辺周部維管束環の冠根原基分化能力が高くなり（業績15）、冠根原基や出現冠根の数が多く（業績12）、形成時期が早くなって（業績13）、植傷みからの回復の一端に寄与することを明らかにし、植傷みの栽培学的な意義を組織解剖学的に明らかにした。また、省力・省資源栽培で、植傷みの少ない苗である乳苗について、さらに育苗作業の大幅な省力化を可能とする低温貯蔵では、冠根原基数が無貯蔵よりも多くなり内部形態的な素質が優れることを明らかにした（業績10）。さらに新田氏は、水稻冠根形成と出現について、環境条件が十分に制御された水耕栽培条件下で検討し、冠根原基の分化には窒素が、冠根の出現にはデンプンが寄与していることを明らかにしている（業績5）。

これらの成果は、水稻の根の発育の品種間差や水稻の移植栽培における初期生育の様相や成長量の確保に、根原基の形成という組織解剖学的な面から根拠を与えるものであり、高く評価される。

(4) 水稻における冠根形成にかかる解析手法の応用

新田氏は、上記の水稻における冠根の形態形成の解析を単子葉の他の作物にも応用した。解析事例が著しく少ないムギ類については、コムギにおいて冠根原基が水稻と同じ辺周部維管束環の外側の部分に形成されるが（業績14）、辺周部維管束環の大きさに規定されないため形成が不連続であることを明らかにした（業績18）。一方、多量のデンプンを茎に蓄積するサゴヤシにおいて、個体ごとに認められる“太い根”は不定根であり、“細い根”は不定根に形成される側根であること、また不定根原基が茎（幹）の頂部側で高密度に形成されることを、現地調査と走査電子顕微鏡観察によって明らかにした（業績11, 17）。

このように、新田氏が水稻の研究で開発した研究手法は、単子葉の他の作物の根の形態形成解明にも応用できる手法であることが示された。

2. 水稻の登熟および米の貯蔵物質動態に関する形態機能学的研究

(1) 走査電子顕微鏡観察試料の調整・作成方法の改良

含水量の多い作物の組織や細胞は走査電子顕微鏡の観察に適さない。とくに、水稻の組織、米粒や炊飯米などはアーティファクトを発生させずに固定し、チャージアップを抑えて観察することはむずかしい。そこで、新田氏は、「急速凍結—真空凍結乾燥法」（松田2003）による組織の固定技術を真空度、処理方法・時間について更なる改良を加えて「特殊真空凍結乾燥装置」を開発して、安定的に作物の組織・細胞やデンプン等の貯蔵物質を観察する方法を確立した（業績21, 22, 23, 24）。本方法により得られる走査電子顕微鏡画像の正確性は国内・外に例が見当たらず、先鋭的な研究手法として評価されている。本方法はフザリウムや乳酸菌の同定・動態解明など植物病理学分野などでも応用されている。

(2) 水稻の登熟および米の品質・食味に関する可視化解析

上記2.(1)で確立した方法を用いて、新田氏は、水稻の登熟や米の品質・食味の構造的特徴を明らかにした。すなわち、従来、炊飯で米粒内に起こるデンプンの糊化構造の過程は不明であったが、アミロペクチン等の分子内に水分子が取り込まれて膨潤し、分子密度の低下した「糊化した構造体」に変化することや（業績19, 23）、登熟期の高温による影響を明示した（業績20）。また、「糊化した構造体」の米粒内の部位による構造変位や存在頻度などを可視化観察して「糊化程度」とし、食味を左右する要因である粘度との関係性を評価した。その結果、日本型品種の粘度について、米粒の表層ではアミロペクチンの組成の違いに、横断面では貯蔵物質の蓄積構造の差異に起因することを明らかにした（業績22）。また、粘度が品種や1穂内の着生位置を異にする米粒で異なる要因について、アミロース含有量に影響をおよぼす登熟期の温度が大きな要因であることを明示した（業績22）。一方、低

投入・持続型栽培（カバークロープ、有機質肥料の利用）でアミロプラストの大型化やタンパク顆粒の減少が認められること（業績 24）、千粒重が大きく粒厚が厚い玄米ではタンパク質含有率やアミロース含有率が玄米の大きさに規定されないこと（業績 21, 23）から、品種や栽培制御、粒重・粒厚による選別で米の品質・食味を制御できることを明らかにした。

これらの成果は、米の食味・品質や登熟を規定する形態学的要因を可視化解析によって明示し、栽培制御や利用に根拠を与えるものであり、高く評価される。

新田氏のこれらの業績は日本作物学会賞を授与するに値するものと判断される。

## 研究業績

### 1. 作物の根の形成に関する形態学的・生態学的解析

1. 新田洋司・星川清親 1992. 水稻の冠根原基の形成に関する研究. 第1報 不伸長茎部における冠根原基の形成部位について. 日本作物学会紀事 61: 339-348.\*
2. 新田洋司 1994. イネの冠根原基の形成. 森田茂紀他編, 根ハンドブック. 根研究会, 東京. 35-36.
3. 新田洋司・山本由徳・一柳尚輝 1996. 水稻の冠根原基の形成に関する研究. 第2報 不伸長茎部基部側における冠根原基の形成. 日本作物学会紀事 65: 465-472.\*
4. 新田洋司・山本由徳・守屋剛志 1997. 水稻の冠根原基の形成に関する研究. 第3報 主茎の不伸長茎部における冠根原基形成に品種間差異. 日本作物学会紀事 66: 610-615.\*
5. 王余龍・新田洋司・姚友礼・山本由徳 1997. 水稻の根の生育に及ぼす窒素の施用時期および施用濃度の影響. 一ハイブリッドライス汕優 63 号の場合. 日本作物学会紀事 66: 588-595.\*
6. 新田洋司 1998. 単子葉植物における根の始原体の形成. 森田茂紀他編, 根の事典. 朝倉書店, 東京. 26-28.
7. 新田洋司・山本由徳・藤原富起 1998. 水稻の冠根原基の形成に関する研究. 一伸長茎部における冠根原基の形成. 日本作物学会紀事 67: 56-62.\*
8. 新田洋司・山本由徳・永見隆司 1998. 水稻の主茎および分けつの不伸長茎部における冠根原基の形成. 日本作物学会紀事 67: 543-548.\*
9. 新田洋司・山本由徳・松田智明 1999. 浮稲の伸長茎部にみられる2種類の冠根の原基形成の特徴. 日本作物学会紀事 68: 531-536.\*
10. 新田洋司・山本由徳・河村剛英・関野亜紀・松田智明 2001. 水稻乳苗における移植前低温貯蔵が苗の内部形態におよぼす影響. 日本作物学会紀事 70: 17-22.\*
11. Nitta, Y., Y. Goto, K. Kakuda, H. Ehara, H. Ando, T. Yoshida, Y. Yamamoto, T. Matsuda, F. S. Jong and A. H. Hassan 2002. Morphological and anatomical observations of adventitious and lateral roots of sago palms. *Plant Production Science* 5: 139-145.\*
12. 新田洋司・船越康聖・本多舞・松田智明 2003. 移植時に断根された水稻苗の根の生育回復. 日本作物学会紀事 72: 76-81.\*
13. 新田洋司・本多舞・松田智明 2004. 断根された水稻稚苗の移植後における冠根の原基形成および出現の経過. 日本作物学会紀事 73: 58-64.\*
14. Nitta, Y., Y. Suzuki and T. Matsuda 2005. Anatomical characteristics of the formation of crown root primordia in unelongated stems of wheat. *Plant Production Science* 8: 186-191.\*
15. 新田洋司・本多舞・松田智明 2005. 水稻稚苗における移植にともなう断根後の冠根原基形成に関する形態学的解析. 日本作物学会紀事 74: 185-191.\*
16. 新田洋司 2005. 作物の形態研究法: ミクロからマクロまで一パラフィン切片作製法とその利点. 日本作物学会紀事 74: 95-97.
17. 新田洋司・松田智明 2005. サゴヤシの根の形態. *SAGO PALM* 13: 16-19.\*
18. Nitta, Y., Y. Suzuki and T. Matsuda 2006. Relation between crown root primordia formation and stem size in unelongated stems of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Production Science* 9: 266-270.\*

### 2. 水稻・米の貯蔵物質動態に関する形態機能学的研究

19. 高橋一典・松田智明・新田洋司 2001. 炊飯に伴う米粒中のデンプン粒の糊化過程に関する走査電子顕微鏡観察. 日本作物学会紀事 70: 47-53.\*
20. 新田洋司 2007. 登熟期の高温が子房の転流・転送系およびアミロプラストの構造におよぼす影響. 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編, 高温障害に強いイネ. 養賢堂, 東京. 24-30.
21. 新田洋司・伊能康彦・松田智明・飯田幸彦・塚本心一郎 2008. 水稻玄米の粒重・粒厚と食味関連形質との関係. 2005年茨城県産コシヒカリの事例から. 日本作物学会紀事 77: 315-320.\*
22. Zhao-hui Ma, Hai-tao Cheng, Y. Nitta, Naohiro Aoki, Yun Chen, Heng-xue Chen, Ryu Ohsugi and Wen-yan Lyu 2017. Differences in viscosity of superior and inferior spikelets of japonica rice with various percentages of apparent amylose content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65: 4237-4246.\*
23. 新田洋司 2018. 良食味米と低食味米の微細構造的特徴. 松江勇次編著, 米の外観品質・食味—最新研究と改善技術—. 養賢堂, 東京. 179-189.
24. Kifayatullah Kakar, Youji Nitta, Naomi Asagi, Masakazu Komatsuzaki, Fumitaka Shiotsu, Toshiaki Kokubo and Tran Dang Xuan 2019. Morphological analysis on comparison of organic and chemical fertilizers on grain quality of rice at different planting densities. *Plant Production Science* 2019. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1657777> \*

\*: 査読付き