

地球温暖化が進む中での水稲再生二期作技術の開発・普及 —暑さに負けない稲作を目指して—

農研機構中日本農業研究センター
研究推進部技術適用研究チーム
主席研究員
中野 洋

1. 技術開発の背景・目的

近年、地球温暖化の影響で国内においても春や秋の気温が上昇し、これまでよりも早い水稲の移植や遅い収穫が可能になり、水稲の生育可能期間が長くなってきた(図-1)。2023年の夏、国連のグテーレス事務総長は、北半球の多くの地域が猛烈な暑さに見舞われたことを受け、「地球温暖化の時代は終わり、地球沸騰化の時代が到来した」と指摘した。将来的に、気温の上昇は続く予想され、水稲の生育可能期間は一層長くなると考えられる。例えば、九州の米所の筑紫平野では、現在、早くとも4月上旬に移植しているのが3月下旬に移植できるようになったり、また遅くとも10月下旬に収穫しているのが11月上旬に収穫できるようになったりすることが予想される。

現在、沖縄県等の水稲の生育可能期間が長い地域では、一度移植・収穫し

た後に、もう一度、移植・収穫する通常の二期作が行われる場合がある(図-2)。他方、水稲は複数年に渡って生育し続ける多年生の性質を持つため、収穫後に切株からひこぼえが発生する(図-3)。地球温暖化が進んで国内の気温が高くなり、水稲の生育可能期間が長くなると、通常の二期作は行えないものの、ひこぼえを栽培・収穫する再生二期作を行える地域が国内で増加すると考えられる。

水稲再生二期作では、一期作目を移植・栽培・収穫した後に、二期作目としてひこぼえを栽培・収穫する(図-2)。通常の二期作で行われる二期作目の耕起・育苗・移植に係る物財費や労働費が不要な上、適切な管理を行うことで通常の一期作に比べて増収も可能なため、生産量当たりの生産コストの削減が期待される。

これまでに、私たちの研究グループでは、農研機構九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)の試験ほ場にお

いて、飼料用米等に用いられる超多収品種「北陸193号」を早生化した系統の再生二期作試験を行った(図-4)(Nakano *et al.* 2020)。その結果、一期作目の収穫時期や収穫時の刈り取り高さを工夫することにより、一期作目と二期作目の合計で1.5 t/10aに迫る多収が得られることを明らかにした。しかし、この系統は炊飯米の食味が良くなり、業務用米や輸出用米等に用いられる良食味多収品種の再生二期作超多収技術は開発されていなかった。そこで、良食味多収品種を活用した水稲再生二期作超多収技術の開発を目指し、農研機構が近年育成した「にじのきらめき」を用いた試験を行ったので、その結果について紹介する(Nakano *et al.* 2023)。

2. 開発技術の内容・意義

「にじのきらめき」は、「コシヒカリ」並の良食味性とおよそ700 kg/10aの多収性を兼ね備えつつ、高温条件下で

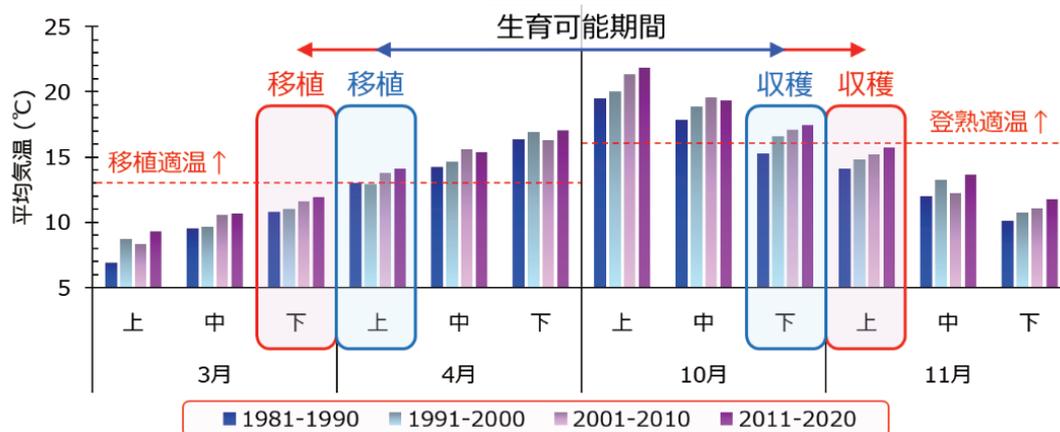


図-1 筑紫平野の中心に位置する福岡県久留米市の近年の春と秋の気温の変動

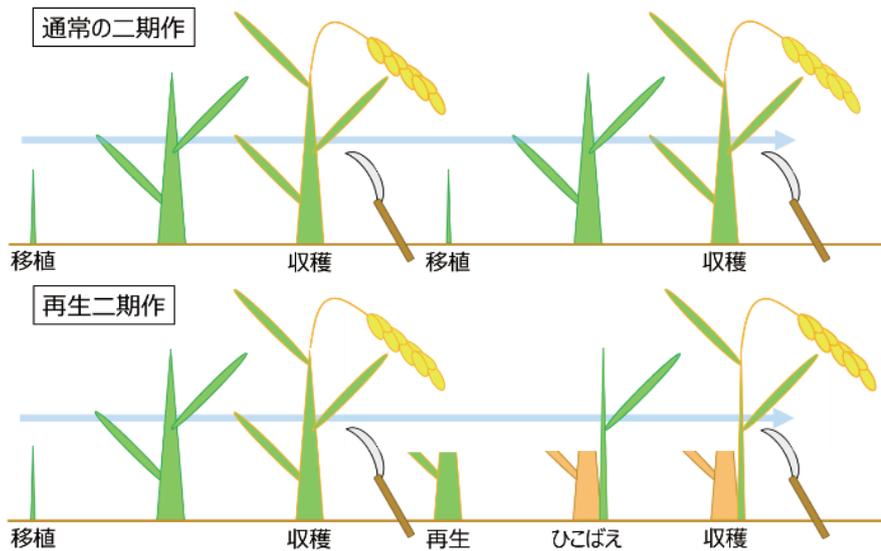


図-2 水稻の通常の二期作と再生二期作



図-3 水稻の収穫後に切株から発生するひこばえ



図-4 超多収品種「北陸193号」を早生化した系統の再生二期作における二期作目の登熟期の様子
左側が一期作目の収穫時の刈り取り高さ50cm、右側が一期作目の収穫時の刈り取り高さ20cm。



図-5 「にじのきらめき」の登熟期の様子

稔っても白濁した玄米が生じにくい高温耐性や耐倒伏性に加え、複数の病害への抵抗性を持つ栽培しやすい品種である(図-5)。今回の試験では、2021年及び2022年に九州沖縄農業研究センターの試験ほ場において、一期作目の移植時期(4月植え又は5月植え)と収穫時の刈り取り高さ(地際から40cmの高刈又は20cmの低刈)について検討した。窒素肥料は、基肥10kg N/10a(移植日)と追肥13kg N/10aの合わせて23kg N/10a施用した。4月植えでは、一期作目を4月

中旬に移植して8月上旬に収穫した後、二期作目を10月下旬に収穫した(図-6、図-7、表-1)。また、5月植えでは、一期作目を5月中旬に移植して8月中旬に収穫した後、二期作目を11月下旬に収穫した。なお、一期作目の出穂までの日数は、6月下旬に出穂した4月植えが、7月中旬に出穂した5月植えに比べて長くなった。一期作目と二期作目の合計収量は、一期作目の収穫時の刈り取り高さを平均すると、4月植えが5月植えに比べて9%多収になった(図-8)。また、

一期作目の移植時期を平均すると、高刈は低刈に比べて4%多収になった。したがって、4月植えと高刈との組合せで最多収が得られ、2か年の平均で944kg/10aの収量になった。特に、2021年は、1t/10aを超える1016kg/10aの良食味米としては極めて高い収量になった。福岡県の生産現場における平均収量は2021年と2022年の平均で482kg/10aのため、「にじのきらめき」と再生二期作との組合せで、およそ2倍の収量が得られたことになる。なお、一期作目の収量は、4月植

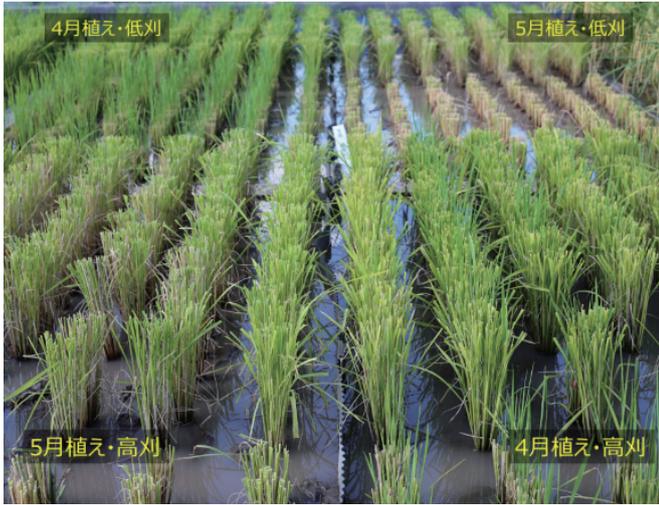


図-6 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目の収穫後の様子(8月中旬)

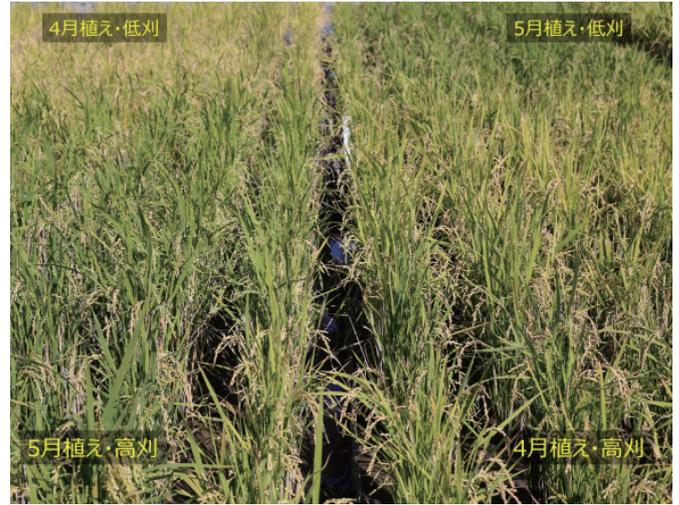


図-7 「にじのきらめき」の再生二期作における二期作目の登熟期の様子(10月下旬)

表-1 一期作目の移植時期が出穂期や収穫期に及ぼす影響

移植 時期	一期作目				二期作目	
	播種	移植	出穂	収穫	出穂	収穫
4月植え	3月上旬	4月中旬	6月下旬	8月上旬	9月上旬	10月下旬
5月植え	4月上旬	5月中旬	7月中旬	8月中旬	9月下旬	11月下旬

一期作目と二期作目の合計収量

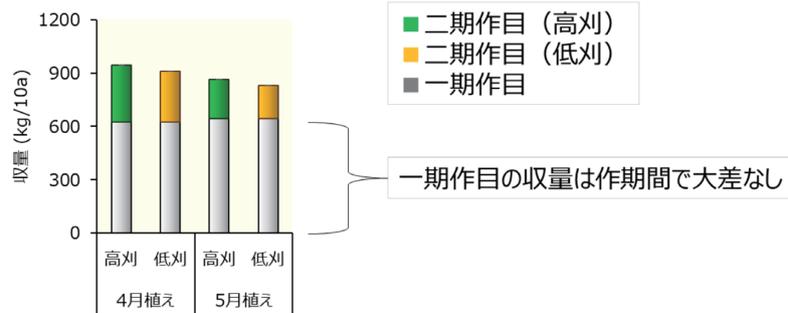


図-8 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目の移植時期と収穫時の刈り取り高さが一期作目と二期作目の合計収量に及ぼす影響

えと5月植えとの間に大差なかった。一期作目の移植時期が二期作目の収量に及ぼす影響をみると、二期作目の収量は、一期作目の収穫時の刈り取り高さを平均すると、4月植えが5月植えに比べて49%増加した(図-9)。そこで、4月植えが多収であった要因を探るために、収量構成要素を調べてみた。収量構成要素には、単位面積当たりの穂の本数(穂数)と1穂当たりの籾数(1穂籾数)があり、これらを掛け合わせると単位面積当たりの籾

数になる。さらに、充実した玄米が入っている籾の割合(登熟歩合)と1粒の重さ(粒重)がある。これらを掛け合わせると収量が求まる。例えば、1㎡当たりの穂数が300本、1穂籾数が100粒、登熟歩合が81%、粒重が22mgだとすると、535g、つまり、全国の平年収量に近い535kg/10aになる。本試験では、4月植えは5月植えに比べて穂数と籾数が増加していた。したがって、4月植えは5月植えに比べて穂数の増加を介して籾数が増

加し、多収になったと考えられた。そこで、これまでの私たちの研究等において、二期作目の穂数と高い正の相関がある一期作目の切株における、眠っている芽(休眠芽)を目覚めさせる作用のあるデンプンや糖等の非構造化炭水化物(NSC)や、光合成に参与する緑の葉の面積である葉面積指数(LAI)を調べてみた(図-10、図-11)(Nakano *et al.* 2020; 2021; 2022; Tanaka *et al.* 2021)。その結果、4月植えは5月植えに比べてNSCと

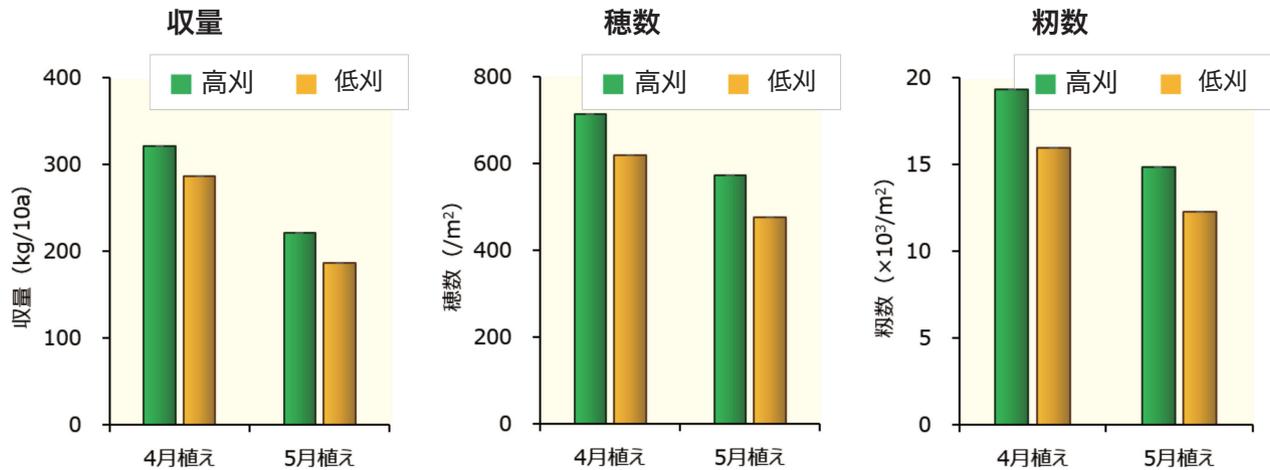


図-9 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目の移植時期と収穫時の刈り取り高さが二期作目の収量、穂数と籾数に及ぼす影響

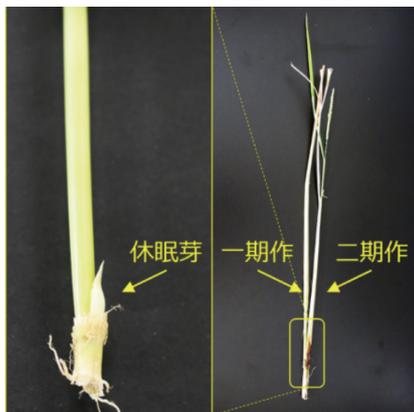


図-10 一期作目の茎の節にある休眠芽 左側が切株の休眠芽、右側が切株の休眠芽から成長した二期作目の茎

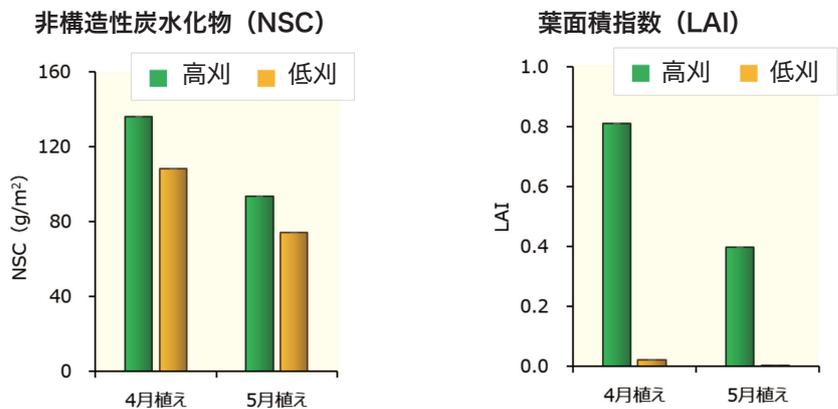


図-11 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目の移植時期と収穫時の刈り取り高さが非構造性炭水化物 (NSC) と葉面積指数 (LAI) に及ぼす影響

LAIが増加していた。

さらに、なぜ、4月植えが5月植えに比べてNSCとLAIが増加したのかを明らかにするために、一期作目の収穫指数を調べてみた(図-12)。収穫指数は、玄米収量の全乾物重に対する割合を表す。今回の試験では、4月植えが5月植えに比べて低くなっていた。これは、一期作目の移植から出穂までの期間が長くなり、植物体全体が大きくなったことによると考えられた。したがって、4月植えでは、一期作目の移植から出穂までの期間が長く、植物体全体が大きくなり、籾に詰まったデンプンの量(玄米収量)に比べて植物体全体が大きく収穫指数が低い、つまり、籾に詰まり切らずに行き

場を失ったデンプンや糖等の栄養分が茎や葉に多く残り、切株のNSCやLAIが増加し、穂数の増加に繋がったと推察された。

一期作目の移植時期の影響についてまとめると、4月植えは、一期作目において、籾に詰まったデンプンの量(玄米収量)に比べて植物体全体が大きく収穫指数が低い、つまり、籾に詰まり切らずに行き場を失ったデンプンや糖等の栄養分が茎や葉に多く残り、切株のNSCやLAIが多く、二期作目の穂数が多かったため、多収になったと考えられた(図-13)。これに対して、5月植えは、一期作目の収穫指数が高い、つまり、栄養分が茎や葉に残らず、切株のNSCやLAIが少なく、二期作目

の穂数が少なかったため、多収にならなかったと考えられた。このほか、4月植えは5月植えに比べ、二期作目の生育期間の気温が高いため、低温による登熟歩合や粒重の低下が起こりにくいといった特長もある。

実際に再生二期作に取り組む場合には、各地域において、平均気温が安定的に12.5℃を超える日が続くようになったら、可能な限り早い時期に移植することが重要である。平均気温が移植早限の基準となる12.5℃を超える時期は各地域で異なり、九州南部地方等では3月中下旬、九州北部地方、四国地方、東海地方や関東地方南部等では4月上旬、山陰地方、北陸地方や関東地方北部等では4月中旬が目

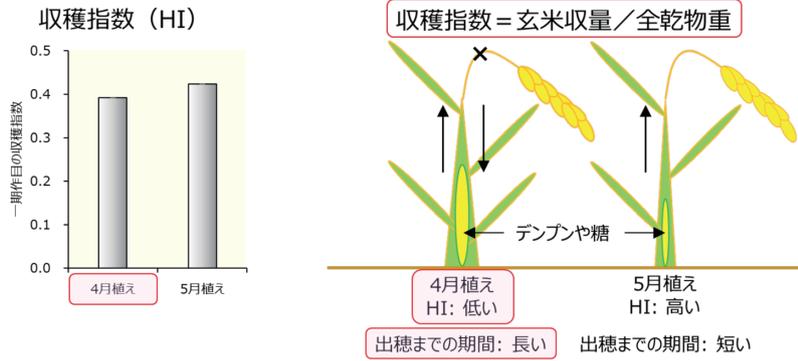


図-12 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目の移植時期が収穫指数に及ぼす影響

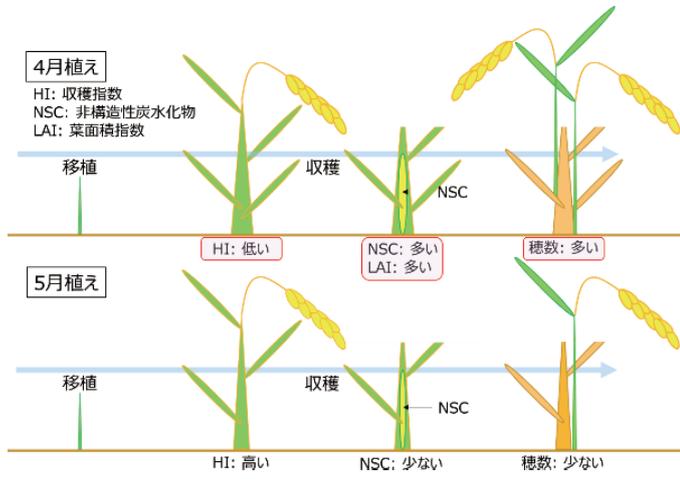


図-13 水稻再生二期作における一期作目の移植時期が二期作目に及ぼす影響の概念図

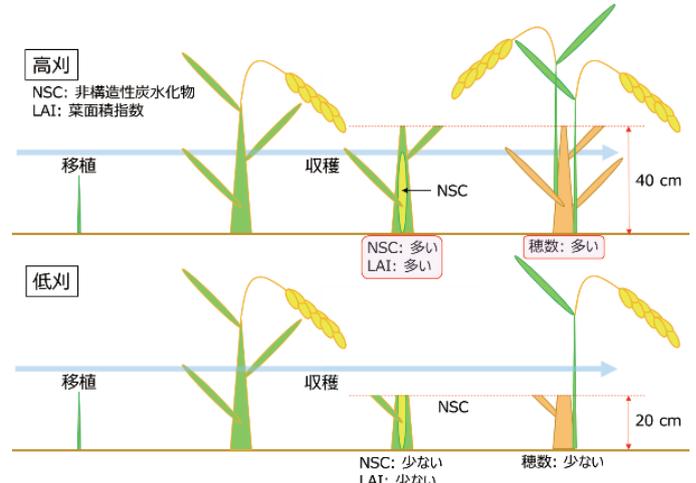


図-14 水稻再生二期作における一期作目の収穫時の刈り取り高さが二期作目に及ぼす影響の概念図

安となる。

一期作目の収穫時の刈り取り高さが二期作目の収量に及ぼす影響を調べると、二期作目の収量は、一期作目の移植時期を平均すると、高刈が低刈に比べて15%多収になった(図-9)。収量構成要素をみると、高刈は低刈に比べて穂数と籾数が増加していた。したがって、高刈は低刈に比べて穂数の増加を介して籾数が増加し、多収になったと考えられた。

さらに、一期作目の切株において、NSCやLAIを調べてみると、高刈は低刈に比べて切株として水田に残す植物体が多くなるので、NSCやLAIが増加していた(図-11)。したがって、高刈は低刈に比べてNSCやLAIが増加し、穂数の増加に繋がったと推察された。

一期作目の収穫時の刈り取り高さの影響についてまとめると、一期作目を

高刈すると、切株のNSCやLAIが多く、二期作目の穂数が多かったため、多収になったと考えられた(図-14)。これに対して、一期作目を低刈すると、切株のNSCやLAIが少なく、二期作目の穂数が少なかったため、多収ならなかったと考えられた。

実際に再生二期作に取り組む場合には、九州地方から関東地方では、地際から高い位置(例えば、40 cm)で一期作目を刈り取ることが重要である。自脱型コンバインは地際から約30 cmの高さまで刈り取れる(図-15)一方、普通型コンバインは地際から約40 cmの高さでも刈り取れる(図-16)。しかし、沖縄県等の亜熱帯地域では、一期作目の刈り取り高さが二期作目の収量に及ぼす効果は明確でなく、高刈が低刈に比べて減収することもある。

炊飯米の食味試験は、外観、粘り、

硬さ、味の各項目とこれらをまとめた総合で評価する。今から四半世紀以上前に茨城県で行われた「あきたこまち」の再生二期作の試験では、8月下旬に一期作目を収穫し、11月上旬に二期作目を収穫したところ、炊飯米の食味は二期作目が一期作目に比べて粘りが低下して硬くなって総合評価が低下した(秋田ら1997)。今回の試験では、西日本で広く作付けされている良食味品種「ヒノヒカリ」の通常の一季作の炊飯米を基準とした(表-2)。このほか、今から半世紀前に全国で最も作付けされていた品種「日本晴」の通常の一季作の炊飯米も評価した。炊飯米の食味は、4月植えた「にじのきらめき」の二期作目が、「にじのきらめき」の一期作目や通常の一季作の「ヒノヒカリ」に比べて総合評価、外観、粘り、硬



図-15 「にじのきらめき」の再生二期作における普通型（汎用型）コンバインによる一期作目の収穫時の様子



図-16 「にじのきらめき」の再生二期作における自脱型コンバインによる一期作目の収穫時の様子

表-2 「にじのきらめき」の再生二期作における一期作目と二期作目の炊飯米の食味

栽培法	品種	総合	外観	粘り	硬さ	味
		-5~+5	-5~+5	-3~+3	-3~+3	-3~+3
		(悪い ~良い)	(悪い ~良い)	(粘らない ~粘る)	(硬くない ~硬い)	(悪い ~良い)
再生二期作						
(4月植え)	にじのきらめき 一期作目	-0.6a	-0.7bc	-0.6a	+0.2 ^{ns}	-0.3ab
	二期作目	-0.5a	-0.1ab	-0.5a	+0.4 ^{ns}	-0.2a
通常の一期作						
	ヒビカリ	0.0a	0.0a	0.0a	0.0 ^{ns}	0.0a
	日本晴	-1.8b	-1.1c	-1.5b	+0.4 ^{ns}	-0.9b

パネラー（10人）を反復とし、分散分析後、多重比較（Tukey HSD）。異なる文字は、5%水準で有意差あり。nsは、分散分析の結果、有意差なし。

さや味が劣らなかつた。また、通常
の一期作の「日本晴」に比べて総合
評価、外観、粘りや味が優れた。た
だし、一期作目の移植時期が遅れる
ことに伴い、一期作目の出穂・収穫
が遅れ、二期作目の出穂・収穫が遅
れると、登熟期の低温の影響で食味
が低下する恐れがある。したがって、
「にじのきらめき」の二期作目の炊飯
米は、業務用米や輸出用米に利用し
得る十分な食味を持つと考えられる。
なお、当該技術については、2024年
6月に特許登録を完了した（中野ら
2024）。

3. 開発技術のまとめ

今回の試験では、「にじのきらめ
き」一期作目の移植時期を4月植え
として収穫時に高刈すると、一期作目
と二期作目の合計収量が2か年の平
均で944 kg/10aとなり、そのうち1
年で1,016 kg/10aの極めて高い値と
なった。一期作目の移植時期の影響
については、4月植えは5月植えに比
べ、一期作目の収穫指数が低く、切株
のNSCやLAIが増加し、二期作目の
穂数が増加したため、多収になったと
考えられた。また、一期作目の収穫時
の刈り取り高さについては、高刈は低
刈に比べ、切株のNSCやLAIが増加
し、二期作目の穂数が増加したため、
多収になったと考えられた。炊飯米の

食味は、4月植えした「にじのきらめ
き」の二期作目が、「にじのきらめき」
の一期作目や通常の一期待作の「ヒノ
ヒカリ」に比べて劣らず、また通常の一
期待作の「日本晴」に比べて優れた。し
たがって、一期作目と二期作目の合計
で多収穫を得て二期作目の炊飯米の食
味低下を防ぐには、一期作目の苗を早
い時期（例えば、4月中旬）に移植し、
地際から高い位置（例えば、40 cm）
で刈り取ることが重要である。

4. 開発技術の改良・普及

良食味多収品種を活用した水稲再生
二期作超多収技術は、生産量当たりの
生産コストの削減が想定されるので、
低コスト生産が求められる輸出用米や
業務用米等への活用が期待される。一
期待作目の移植から二期作目の収穫に至
るまでの長い期間の用水の確保が必要
である。地際から高い位置での一期作
目の刈り取りや、稈長の短い二期作目
の収穫を行うので、遺伝的に稈長が短
い「にじのきらめき」では、自脱型コ
ンバインの使用が困難で、普通型コ
ンバイン（汎用コンバイン）の使用が必
要となる。適用可能地域は、今回の試
験を行った福岡県と春や秋の気温が大
差ない関東以西の温暖な地域を現時点
では想定している。「にじのきらめき」
の再生二期作は、今年から、関東、東
海、中国、四国等の地域で普及が始まっ

ている。現在、私たちの研究グループ
では、各地域の気温に適した品種の選
定や、コンバインのタイプに適した品
種の選定を行っている。

謝辞

本技術開発の一部は科学研究費補助
金 20K06007 の助成を受けた。

引用文献

- 秋田ら 1997. 1994年茨城県南部において見
られた再生稲の収量および食味. 日本作物
学会紀事 66(1), 131-132.
- Nakano *et al.* 2020. Breaking rice yield
barrier with the ratooning method
under changing climatic conditions: a
paradigm shift in rice cropping systems
in southwestern Japan. *Agronomy
Journal* 112(5), 3975-3992.
- Nakano *et al.* 2021. Grain yield response
to stubble leaf blade clipping in rice
ratooning in southwestern Japan.
Agronomy Journal 113(5), 4013-4021.
- Nakano *et al.* 2022. Nonstructural
carbohydrate content in the stubble
per unit area regulates grain yield of
the second crop in rice ratooning. *Crop
Science* 62(4), 1603-1613.
- Nakano *et al.* 2023. Grain yield response
to planting date and cutting height of
the first crop in rice ratooning. *Crop
Science* 63(4), 2539-2552.
- 中野ら 2024. イネの再生二期作栽培方法.
特許第 7504505 号.
- Tanaka *et al.* 2022. Grain yield response
to cultivar and harvest time of the first
crop in rice ratooning in southwestern
Japan. *Crop Science* 62(1), 455-465.