

小規模水稲圃場における密苗と直進アシスト機能を活用した 移植栽培の省力・軽労化効果の検証

黒瀬咲弥

Investigation of labor-saving effect of transplant culture using the dense nursery plant and straight-line assist function in small-scale rice cultivar fields

SAKUYA Kurose

要 旨

水稲密苗栽培において、トラクタ、田植機に直進アシスト機能を取り付け、経験の浅い未習熟者及び熟練者の耕起、代かき、田植作業における作業能率及び疲労度を調査した。2022年の耕起作業、2023年の代かき作業、2022年、2023年の移植作業において、作業能率は未習熟者で向上し、熟練者では変わらないか低下し、疲労度は両作業者ともに自動走行で作業後に低下する傾向にあった。したがって、未習熟者においては直進アシスト機能によって熟練者の手動操作並の作業能率が期待できると考えられた。また、育苗、耕起、移植作業にかかる生産費は、直進アシスト機能による差はみられなかったが、密苗では慣行苗よりも育苗費が41～46%低くなった。

キーワード：水稲、直進アシスト、GNSS、密苗

1. 緒言

愛媛県は中山間地が多く、水田1枚当たりの面積が小さく、数aから大きくて20、30a程度のことが多い。また、1人の生産者が管理する圃場枚数も多いことから、作業効率が低く、作業負担も高い。

近年は、農業法人などに農地が集約されつつあるが、担い手不足により、農作業経験が浅いオペレーターであっても即戦力となる必要がある。

また、県内の水田はロボットトラクタ等の大面積用の農機は不向きであるが、直進アシスト機能であれば小型農機にも取り付けることができるため、経験の浅いオペレーターの省力、軽労化、高精度作業に有効で、普及性があると考えられる。

そこで、本試験では、小型農機に直進アシスト機能を取り付けることで、経験の浅いオペレーターでも整地や水稲移植作業が容易で高精度に行えるようになることを検証した。

2. 材料および方法

2.1 供試機械と圃場概要

試験は、2022年と2023年に農林水産研究所の水田で実施した。土壌は中粗粒質普通低地水田土で排水良好な圃場であり、試験圃場の前作は麦類または冬春レタスであった。

供試した機械は、トラクタ（2022年はヤンマーYT225A、2023年はヤンマーYT333R）及び田植機（ヤンマーYR6D、2022年は密苗仕様、2023年は通常の爪で掻き取り量を最小に設定）で、トラクタにはGNSSガイダンス・自動操舵補助システム（ニコン・トリンプルNAV-900、2022年のみGFX-750）を装着し、田植機にはGNSSガイダンス・自動操舵補助システム（ニコン・トリンプルNAV-900）を装着した。補正情報は2022年のトラクタのみGNSS-RTK、他はすべてD-GNSSとした。

2.2 試験区の構成

試験は、2022年には耕起試験と移植試験、2023年には代かき試験と移植試験を行った。試験区は両年とも、作業者が未習熟者と熟練者の2水準、直進走行設定を自動と手動の2水準の計4試験区（未習熟-自動区、未習熟

- 手動区, 熟練 - 自動区, 熟練 - 手動区) を設けた。試験規模は, 2022 年は 1 区 10 a の 2 区制とし, 2023 年は 1 区 19 a (1 圃場 長辺 100m×短辺 19m) の 2 区制とした。

作業者は, 2022 年が未習熟者に 20 代女性と熟練者に 50 代男性とし, 作業歴はそれぞれ 0 年と 25 年である。2023 年が未習熟者に代かき試験では 50 代男性, 移植試験では 30 代男性で, 熟練者は両試験とも 50 代男性とし, 作業歴はそれぞれ 12 時間, 4 時間及び 11 年である。なお, 2022 年には直進アシスト操作の習熟のために, 事前に供試機械を用いて, 未習熟者は耕起 3 時間, 移植 2 時間, 熟練者は耕起 1 時間, 移植 1 時間の操作練習を行った。

直進アシストの操作は, 自動区では 1 工程目の直進走行始めを A 点, 走行終わりを B 点に設定し, A~B を直線でつないだ基準線から既定の作業幅を開け基準線の平行線を走行した。走行位置は耕起及び代かきではモニター, 移植ではラインマーカーに従った。

2.3 耕種概要

水稲供試品種は‘ひめの凜’とし, 2022 年は 5 月 20 日, 2023 年は 5 月 23 日に播種機 (スズテック THK2009B) を用いて密苗となるように乾籾 293~294 g/箱を播種した。播種に先立ち, 種子予措として種子消毒後 4 日間室温でハト胸状態になるまで浸種し, 播種後は露地に平置きし, 最初の 7 日間はシルバーポリ被覆, その後はプール育苗とした。

入水前の圃場は両年とも 5 月下旬にロータリで荒耕起した。2022 年は, 耕起試験として 6 月 2~3 日に整地した。代かきを 6 月 6 日にハローで行い, 移植試験として 6 月 8 日に 15.2 株/m²で移植した。2023 年は, 代かき試験として 6 月 6~7 日に代かきし, 移植試験として 6 月 8~9 日に 15.2 株/m²で移植した。

施肥は側条施肥で, えひめ中央中生一発を用いた全量基肥とし, 窒素成分で 7.7kg/10 a とした。水管理は移植直後は浅水管理, 活着後は間断灌水とし, 中干しを 2022 年は 7 月 11 日から, 2023 年は 7 月 10 日からそれぞれ 10 日間行い, その後は出穂まで間断灌水とした。除草剤には 2022 年はマサカリジャンボを

6 月 13 日に散布し, 2023 年はカチボシジャンボを 6 月 14 日に散布した。病虫害防除では両年とも, 種子消毒にスポルタックスター SE を 200 倍液で 24 時間浸漬し, 播種直前にダコレート水和剤 400 倍液を土壌灌注した。また, 両年とも箱施用剤にはサンスパイク箱粒剤を 100 g/箱で田植と同時に施用し, 出穂期防除にはダブルカットスタークルフロアブル 8 倍, バリダシンエアー 8 倍, ロムダンエアー 16 倍でドローン防除した。

2.4 調査方法

作業時調査として, 各作業の作業時間, 作業能率, 燃費, 移植時の直進列の横ずれ距離, 作業者の疲労度を調査した。作業時間のうち, 直進作業時間は圃場の長辺方向 88m 間の走行時間の平均とし, 旋回作業時間は旋回時間の平均とした。

燃費は満タン法とし, 作業者の疲労度の測定はニプロ唾液アミラーゼモニターを使用した。また, 作業前後の血圧と心拍数はオムロン手首式血圧計を用いて作業の直前と直後に座位で測定した。

生育, 収量調査では, 使用苗箱数, 収量構成要素及び精玄米重を調査した。2023 年の未習熟 - 自動区のみ 1 反復で, 他の試験区は両年とも 2 反復とし, 1 反復当たり 3 カ所調査した。千粒重及び精玄米重は 1.8mm の篩で調整し, 水分 14.5% に補正した。

経済性評価では, 耕起や移植にかかる作業時間, 燃料費や人件費を試算した。育苗費は 2020 年, 2021 年に本試験と同様の播種条件で密苗及び慣行苗を育苗した際の実測値の平均を使用し, 農薬費と光熱動力費は実費, 労働費は農林水産省 (2023) を用い賃金単価に準じた時給に各作業の作業時間と作業人数を乗じて算出した。

3. 結果

3.1 2022 年試験

耕起時の直進にかかる作業時間及び作業能率は, 有意差はみられなかったものの, 未習熟者では自動操舵によってわずかに短縮され, 作業能率は対手動区比で 104% となった。燃

表1 耕起作業における作業性、燃費、疲労度 (2022)

作業者	直進走行	作業時間 (min/10a)		作業能率 (a/h)	燃費 (L/h)	直進の横ずれ(cm)				疲労度 (kIU/L)
		直進	旋回			全体		作業始め		
				平均値	標準偏差	平均値	標準偏差			
未習熟者	自動	28.9	2.4	13.0 (104)	2.5 (100)	-7.3	6.1	-7.4	7.2	138
	手動	30.1	2.9	12.5 (100)	2.5 (100)	-4.3	10.2	-2.5	11.4	15
熟練者	自動	29.7	2.0	12.9 (100)	2.4 (104)	-8.0	2.4	-8.1	2.8	83
	手動	29.7	2.1	12.9 (100)	2.3 (100)	1.8	5.8	1.1	5.5	7
分散分析	作業者	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.
	直進走行	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.		n.s.
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.

※作業能率、燃費は枕部分も含めて算出。直進の横ずれは前工程との重なりを測定し、1工程当たり8地点で調査した。作業始めは直進開始から0m及び5m地点の横ずれ値とした。作業前後にニプロ唾液アミラーゼモニターを用いてアミラーゼ活性値を測定し、作業直後－作業前の値を疲労度とした。()は各作業者の手動区を100としたときの自動区の相対値を示す。分散分析の*は5%水準で有意差あり、n.s.は有意差なしを示す。

表2 移植作業における作業性、燃費、疲労度 (2022)

作業者	直進走行	作業時間 (min/10a)		作業能率 (a/h)	燃費 (L/h)	直進の横ずれ(cm)				疲労度 (kIU/L)
		直進	旋回			全体		作業始め		
				平均値	標準偏差	平均値	標準偏差			
未習熟者	自動	11.4	4.3	21.3 (117)	1.1 (65)	-3.1	13.0	-3.1	12.4	-15
	手動	14.6	5.9	18.2 (100)	1.7 (100)	-1.8	5.0	-2.8	5.3	2
熟練者	自動	7.0	2.3	27.7 (103)	1.9 (70)	-4.6	7.7	-5.2	6.9	-36
	手動	8.2	1.6	27.0 (100)	2.7 (100)	-2.8	5.1	-3.3	5.7	9
分散分析	作業者	**	*	**	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.
	直進走行	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.		n.s.

※作業能率、燃費は枕部分も含めて算出。直進の横ずれは前工程との重なりを測定し、1工程当たり8地点で調査した。作業始めは直進開始から0m及び5m地点の横ずれ値とした。作業前後にニプロ唾液アミラーゼモニターを用いてアミラーゼ活性値を測定し、作業直後－作業前の値を疲労度とした。()は各作業者の手動区を100としたときの自動区の相対値を示す。分散分析の*は5%水準で有意差あり、n.s.は有意差なしを示す。

費は作業者及び走行設定によって差はみられなかった。直進の横ずれは、作業者にかかわらず、自動操舵の方が工程ごとの横ずれは7～8cmと大きかったが標準偏差は小さかった。疲労度は、オペレーターにかかわらず自動区の方が高かったが、測定値のばらつきが大きく有意差はみられなかった(表1)。

移植時の直進にかかる作業時間及び作業能率は、熟練者の方が未習熟者より作業時間が短く作業能率は高かった。未習熟者では自動操舵によって作業時間が短縮され、作業能率は対手動区比で117%であったが、熟練者では対手動区比で103%となった。燃費については、作業者間、走行間での有意差はみられなかったが、消費燃料は自動区の方が未習熟者で35%、熟練者で30%削減された。直進の横ずれは、両作業者とも有意な差ではないものの自動操舵の方が大きい傾向にあり、標準偏差も大きかった。疲労度は両作業者ともに自動操舵で低くなったが、耕起時同様測定値

のばらつきが大きく有意な差ではなかった(表2)。

なお、移植時に熟練者では自動区の方が直進にかかる時間が長く、かつ直進の横ずれの標準偏差が大きかったが、これは前作が冬春レタスであった圃場で、明きよ跡に田植機の車輪が取られ、走行スピードを緩めたためであった(写真1)。



写真1 明きよ跡の移植列の歪み (2022)

※補植作業を実施済

小規模水稲圃場における密苗と直進アシスト機能を活用した移植栽培の省力・軽労化効果の検証

表3 代かき作業における作業性，燃費（2023）

作業者	直進走行	作業時間 (min/10a)		作業能率		燃費	
		直進	巡回	(a/h)		(L/h)	
未習熟者	自動	28.1	5.8	16.4	(116)	3.2	(89)
	手動	33.0	9.1	14.1	(100)	3.6	(100)
熟練者	自動	37.5	7.4	12.8	(77)	3.0	(79)
	手動	28.3	3.6	16.6	(100)	3.8	(100)
分散分析	作業者	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	
	直進走行	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	

※未習熟者-自動区のみ1反復，他区は2反復．作業能率は枕部分も含めて算出．（ ）は各作業者の手動区を100としたときの自動区の相対値を示す．分散分析のn.s.は有意差なしを示す．

表4 代かき作業における血圧，心拍数，疲労度の変化（2023）

作業者	直進走行	収縮期血圧 (mmHg)		拡張期血圧 (mmHg)		心拍数 (bpm)		疲労度 (kIU/L)
		作業前	作業後	作業前	作業後	作業前	作業後	
未習熟者	自動	162	105	106	74	85	80	-5
	手動	160	149	110	104	73	73	62
熟練者	自動	127	83	106	58	74	70	-13
	手動	127	127	88	106	80	74	4

※初心者自動区のみ1反復，他区は2反復．作業前後にニプロ唾液アミラーゼモニターを用いてアミラーゼ活性値を測定し，作業直後-作業前の値を疲労度とした．血圧、心拍数において，各試験区の作業前・作業後間で検定を行ったが，いずれも有意差はみられなかった．

表5 移植作業における作業性，燃費，精度（2023）

作業者	直進走行	作業時間 (min/10a)		作業能率 (a/h)	燃費 (L/h)	直進の横ずれ (cm)	
		直進	巡回			平均値	標準偏差
未習熟者	自動	10.5	2.2	33.3 (110)	1.2 (86)	-7.5	3.2
	手動	13.1	2.9	30.2 (100)	1.4 (100)	0.3	3.0
熟練者	自動	10.4	1.6	33.2 (97)	1.5 (100)	-0.3	6.9
	手動	9.3	1.6	34.4 (100)	1.5 (100)	-0.1	2.7
分散分析	作業者	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	
	直進走行	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	

※未習熟者-自動区のみ1反復，他区は2反復．作業前後にニプロ唾液アミラーゼモニターを用いてアミラーゼ活性値を測定し，作業直後-作業前の値を疲労度とした．血圧、心拍数において，各試験区の作業前・作業後間で検定を行ったが，いずれも有意差はみられなかった．

表6 移植作業における血圧，心拍数，疲労度の変化（2023）

作業者	直進走行	収縮期血圧 (mmHg)		拡張期血圧 (mmHg)		心拍数 (bpm)		疲労度 (kIU/L)
		作業前	作業後	作業前	作業後	作業前	作業後	
未習熟者	自動	146	130	96	85	89	82	-25
	手動	142	141	95	97	89	89	0
熟練者	自動	203	193	150	148	80	83	-1
	手動	193	181	148	138	83	85	4

※未習熟者-自動区のみ1反復，他区は2反復．作業前後にニプロ唾液アミラーゼモニターを用いてアミラーゼ活性値を測定し，作業直後-作業前の値を疲労度とした．血圧、心拍数において，各試験区の作業前・作業後間で検定を行ったが，いずれも有意差はみられなかった．

表7 移植試験における生育状況及び収量 (2023)

作業区	直進走行	使用	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	穂数 (本/m ²)	1穂 粒数	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)
		苗箱数 (箱/10a)							
未習熟者	自動	6.9	8/29	10/4	333	86	88	24.1	65.3
	手動	7.1	8/29	10/4	362	82	86	24.0	67.1
熟練者	自動	7.6	8/29	10/4	296	96	84	23.4	66.8
	手動	7.3	8/29	10/4	385	88	86	23.7	66.1

※未習熟者-自動区のみ1反復，他区は2反復で，1反復あたり3か所調査を行った。千粒重，精玄米重は1.8mm以上で水分14.5%補正。

表8 育苗・代かき・移植作業にかかる作業区別生産費 (1ha当たり) (2023)

作業区	直進走行	使用苗	使用	物財費			労働費 (円)	合計 (円)
			苗箱数 (箱/ha)	育苗費 (円)	農薬費 (円)	光熱動力費 (円)		
未習熟者	自動	密苗	69	22,575	186,032	6,752	24,305	239,664 (88)
	手動		71	23,098	186,791	7,644	27,132	244,665 (90)
熟練者	自動	密苗	76	24,930	189,445	6,930	27,413	248,718 (91)
	手動		73	23,720	187,691	8,089	24,181	243,681 (89)
熟練者	手動	慣行苗	160	42,208	191,246	8,089	31,467	273,010 (100)

※密苗及び慣行苗の育苗費データは，2020年，2021年に本試験と同様の播種条件で密苗及び慣行苗を育苗した際の実測値の平均より試算。農薬費は移植後及び出穂期防除にかかる薬剤を計上し，光熱動力費は作業中の燃料消費量に価格を乗じた。労働費は，農水省「令和3年産米生産費(個別経営)」の賃金単価に準じた時給に各作業の作業時間と作業人数を乗じた。()は各作業区の手動区を100としたときの自動区の相対値を示す。

3.2 2023年試験

代かき作業において，自動区の作業時間は手動区に比べ，未習熟者では短く，熟練者では長かった。このため，作業能率は未習熟者では自動区で高く，逆に熟練者では低くなった。また，未習熟者の自動区と熟練者の手動区の作業能率は概ね同等となった。燃費については，両作業区とも自動区で消費燃料が少なかった(表3)。

代かき作業において，作業前後の血圧は，未習熟者，熟練者ともに手動区より自動区で大きく低下した。疲労度も，未習熟者，熟練者ともに自動区で低くなった(表4)。

移植作業において，作業時間は，巡回では未習熟者より熟練者の方が有意に短かった。しかし作業効率は未習熟者，熟練者に関わらず同等となり，未習熟者-自動区と熟練者-手動区の作業能率は概ね同等であった。燃費については未習熟者では自動区の方が消費燃料は14%削減されたが，熟練者では同等であった。直進の横ずれは，未習熟者-自動区で大きかったが標準偏差は未習熟者-手動区とほぼ変わらず，熟練者-自動区は熟練者-手動区より標準偏差がやや大きかった(表5)。

移植作業において，作業前後の血圧は，未習熟者-手動区以外でわずかに低下した。疲労度は，未習熟者，熟練者ともに自動区で低くなった(表6)。

なお，熟練者では自動区の方が直進にかかる時間が長く，かつ直進の横ずれの標準偏差が大きかったが，これは1圃場で前作の弾丸暗きよや明きよ跡に車輪がとられ，走行スピードを緩めたためであった。

使用苗箱数は，未習熟者の方がやや少なかった。収量構成要素及び精玄米重はいずれの試験区も概ね同等であった(表7)。

密苗と慣行苗の使用苗箱数を比較すると，密苗では慣行苗比約54%減となった。これに伴い，育苗費は密苗で慣行苗比約44%減となり，合計額は熟練者の手動区(慣行苗)に比べ他4区が9~12%低減された。自動区と手動区を比較すると，光熱動力費は，未習熟者，熟練者ともに手動区に比べ自動区で低かったものの，未習熟者では自動区が手動区比で2%減，熟練者では自動区が手動区比で2%増となった(表8)。

4. 考察

4.1 自動操舵補助システムを使用した耕起作業（2022年）

直進の横ずれは、両作業者とも自動区で7～8cmで手動区よりも大きかったが、設定上の横ずれ（重なり）幅は5cmであり、自動区は高精度で直進作業できたと考えられた。

作業能率は、未習熟者では向上し、熟練者では変わらなかったが、耕起作業においては未習熟者で自動操舵補助システムによって作業効率が向上することが期待された。

疲労度については、両作業者とも初めての自動操舵のため心理的ストレスから自動区で高くなったと考えられた。

4.2 自動操舵補助システムを使用した代かき作業（2023年）

作業能率は、未習熟者では自動区で作業時間が短く作業能率が高かったことから、未習熟者では直進アシスト機能によって熟練者の手動操作並の作業能率が期待できると考えられた。また、熟練者では自動区で作業能率が低下したが、これは作業精度が30cmであり、工程ごとにずれが生じ、補正によって工程数が増加したためと考えられる。

疲労度には有意差はみられなかったものの、自動走行で作業後に低下する傾向にあったため、自動走行では心理的ストレスを受ける程度が手動走行よりも低くなるようであった。

4.3 自動操舵補助システムを使用した移植作業（2022、2023年）

直進の横ずれは、作業者にかかわらず、自動区で手動区よりも大きい標準偏差は15cm以内であり、移植作業に用いた補正情報の精度が30cmであることから、自動区は高精度で直進作業できたと考えられた。

作業能率は、未習熟者では自動区で直進の作業速度が速くなったため手動区よりも向上し、未習熟者においては直進アシスト機能によって熟練者の手動操作並の作業能率が期待できると考えられた。一方、熟練者では手動でも極めて高い作業能率を示したため、自動区と手動区で同等であったと考えられた。

疲労度は両年、両作業者とも自動区で手動区より低く、自動操舵では心理的ストレスを受ける程度が手動よりも低いと考えられた。

4.4 自動操舵補助システム及び密苗の経営評価

生育及び収量は、未習熟者及び熟練者とも自動区、手動区でほぼ同等であった。使用苗箱数は両作業者とも自動区、手動区でほぼ同等であった。生産費を作業者間や走行方法間で比較するといずれも概ね同等であったが、密苗と慣行苗で比較すると、密苗の使用苗箱数が大きく低減したことにより、育苗費は密苗で41～46%低くなった。

作業後の疲労度は特に移植では自動区で低く、作業者の感想は耕起、移植とも「作業幅の重なりやハンドル操作に気を遣わずに済むため、自動走行の方がかなり楽」とのことであった。

以上のことから、直進アシスト機能を持つ自動操舵補助システムを活用することで、水稲の耕起、代かき、移植の各作業において、未習熟者でも熟練者並みの作業時間、作業効率が期待できると考えられた。また、直進アシスト機能を活用し自動走行とすることで未習熟者、熟練者とも機械作業の心理的ストレスを受ける程度が手動走行より低くなると考えられた。水稲密苗栽培に自動操舵補助システムを活用することで、省力・軽労化するだけでなく、育苗費を中心に生産コストが低減すると考えられた。

謝 辞

試験の実施において協力いただいたヤママーアグリジャパン株式会社中四国支社の関係者にお礼申し上げます。

引用文献

林水産省（2023）：令和3年産農作物生産費（個別経営），https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_nousan/