

堆肥の散布実態解明と精度向上に関する研究

帯広畜産大学（現：株式会社 IHI スター）

研究機関研究員 申 宝 明（しん ほうめい）

2006年3月 帯広畜産大学大学院畜産学研究科修了

2009年3月 岩手大学大学院連合農学研究科修了

2009年4月 帯広畜産大学研究機関研究員，2012年4月から現職，農業機械学会正会員，博士（農学）



帯広畜産大学

教授 佐 藤 穎 稔（さとう ただとし）

1980年3月 帯広畜産大学農業工学科卒業，同研究生

1981年4月 ヤンマーディーゼル株式会社

1981年8月 帯広畜産大学畜産学部助手，同講師，同准教授を経て現在に至る。専門分野：農業機械学（農作業システム工学），農業機械の自動化，農薬の高精度散布技術の開発，ものづくり学，農業ICTなど。農業機械学会正会員，博士（農学）



帯広畜産大学

准教授 岸 本 正（きしもと ただし）

1984年3月 帯広畜産大学大学院畜産学研究科修了

1988年2月 九州大学大学院農学研究科単位取得退学

1988年3月 帯広畜産大学助手を経て現在に至る。専門分野：農業機械学（農業トラクタ工学），農用車両用タイヤの走行性，土-機械系の相互作用など。農業機械学会正会員，農学博士



I はじめに

古くから、家畜ふん尿堆肥（以後、堆肥と称する）は肥料的効果や土づくりの効果があると言われている。また、近年 GHG (GreenhouseGas, 温室効果ガス) の抑制対策として注目されている。堆肥は施用されて、一時的に炭素源を吸収し、長期間に渡って大気中に放散する特性を持っていることから、GHG 放散コントロールが可能であると報告されている (Favoino and Hogg, 2008)。すなわち、堆肥を施用することによって、地球温暖化防止に寄与することが期待され、堆肥の有効利用は重要な課題であると言える。

農林水産省では、家畜排泄物は堆肥化して農耕地に有効利用するように法律を整備して指導している。その利

用手段としては、主に圃場への直接還元であるが、一般に北海道では堆肥を圃場に散布するためにマニュアスプレッダ（堆肥散布機）が使用されている。前述したような堆肥の効果を十分に發揮させるためには、堆肥を均一に圃場に散布することが重要である。しかし、近年畜産業の経営規模の拡大に伴い、家畜が排泄するふん尿の量は膨大なものになっている。また、ふん尿処理は畜産農家にとって非生産部門であり、これに係わる費用は収益に影響するため、環境に与える影響が少ない堆肥化やメタン発酵処理など、ふん尿を適切に処理することへの投資意欲は乏しいのが現状である（吉野, 2000）。そのため、実際の農家で使用している堆肥は堆肥化や腐熟化が進んでいない未熟なものが多いことを指摘している（李ら, 2009）。このような背景で、堆肥利用の実態の究明

が求められている。

この度、筆者らが行ってきた堆肥の散布実態解明と精度向上に関する研究の業績に対して第13回農業機械学会北海道支部賞が授与された。その主な内容は、圃場規模での堆肥散布の実態を調査し、マニュアスプレッダによる堆肥散布のばらつきの要因を定量的に明らかにした。また、GPSを用いて堆肥散布作業時の走行速度のばらつきやマニュアスプレッダの散布幅を考慮した隣接行程の走行間隔などの圃場散布作業の実態を解明した。ここで、これらの研究の梗概を農業機械学会北海道支部報の紙面をお借りして述べる。

II マニュアスプレッダの堆肥散布機構と散布精度

堆肥を圃場に散布する場合、一般にけん引式マニュアスプレッダが利用されている。筆者らの観察によると、マニュアスプレッダでの散布作業では、しばしば大きな堆肥の塊がビータによってはじき飛ばされるなど、均一散布が行われていない状況が見受けられる。つまり、大きな塊が散布されることにより、圃場内で局所的に散布量のばらつきが発生することになる。この問題を改善するためには、圃場を小区画に区切り、精密農業的な手法によってばらつきを測定してマップを作成し、それに応じて機械的に施肥量を自動調整するというばらつきを緩和する管理方法が考えられる(杉浦ら, 2005)。これらの圃場内の局所的なばらつきを示す方法として、マップ技術を利用し、圃場内のばらつきを科学的に視覚的に理解して把握することは重要であると考えられる。しかし、実際の圃場における堆肥散布の実態については、近年ほとんど報告例が見当たらない。

そこで、本研究は、堆肥散布精度の実態を把握するために、一般に利用されている散布機構が異なる代表的な3機種のトラクタけん引式マニュアスプレッダを供試して圃場での散布試験を行い、堆肥散布精度の実態について明らかにすることを目的とした(申ら, 2010)。

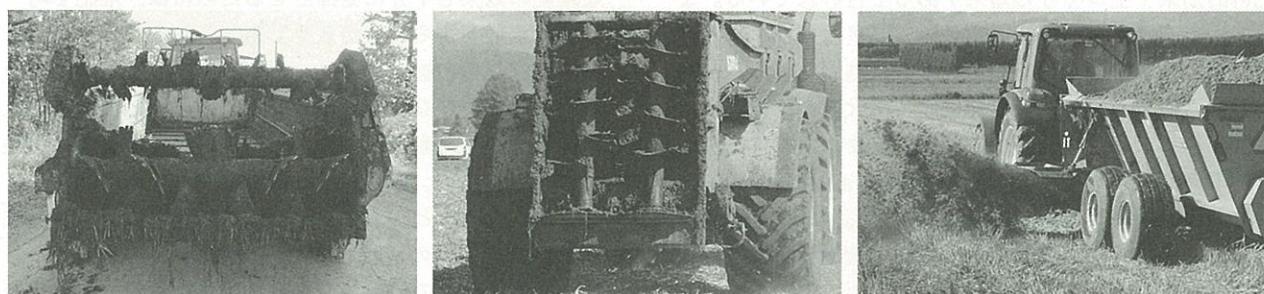
供試した3機種は図1に示すように、積載容量5.7m³の横軸ビータ型のA機、16m³の縦軸ビータ型のB機および10m³の左側方散布型のC機である。

マニュアスプレッダの堆肥散布機構別の散布量分布を

求めるために、プラスチック製の受け箱をトラクタの進行方向に対して垂直に1列に配置し、散布された堆肥の重量を測定した。国産の横軸ビータ型のA機でバーク堆肥を散布した場合の散布形状は機体中心に対して左右対称の台形分布を示し、有効散布幅は2mと狭いが、比較的均一に散布できるものと思われる。しかし、高水分の牛ふん堆肥を散布した場合、散布形状に大きな偏りが見られ、散布の変動が大きくなることが明らかになった。縦軸ビータ型のB機は高水分の牛ふん堆肥を供試したが、機体中心部に散布が集中する左右対称の安定した山形の分布を示し、有効散布幅は14mと国産機に比べて7倍であった。輸入の左側方散布型のC機は、進行方向左側のみに堆肥を散布し、最大到達地点は機体中心から7mである。散布量分布は山形を示すが、機体中心から5~6m付近に分布が集中し、形状的にはA機やB機に比べると散布の偏りが大きいことが判明した。

マニュアスプレッダの圃場全体への堆肥散布状態を調査するために、受け箱を面積20aに1カ所の割合で圃場に配置し、散布直後に受け箱を回収した。堆肥の質量は最小目盛2gの電子天秤で計量し、散布された堆肥の散布量分布を求めた。図2はA、B、Cの3機種で散布したそれぞれのA、B、C圃場の堆肥散布量分布の圃場マップを示す。いずれも縦軸は圃場の短辺であり、横軸は圃場の長辺でマニュアスプレッダの進行距離を示す。上図のA圃場では、マップの全体の色すなわち堆肥散布量は一定ではなく、横軸225m、縦軸140mの付近では、最小の0.2t/10aと予定散布量の1/10であった。一方、横軸225m、縦軸100mの付近では最大の3.4t/10aと予定散布量の1.7倍であった。また、この圃場全体の堆肥散布量の変動係数は61.6%であり、散布のばらつきが大きいといえる(古橋ら, 2002)。供試した堆肥は藁入り堆肥であり、ビータにより破碎されずに、堆肥の塊が散布されたことも散布のばらつきが大きくなった原因であると考えられる。なお、各圃場の堆肥散布状態を表1に示す。

つぎに、B圃場の設定散布量は農家の希望により、7t/10aに設定した。しかし、中図に示すように、横125



A機（横軸ビータ型）

B機（縦軸ビータ型）

C機（左側方散布型）

図1 供試機の散布機構

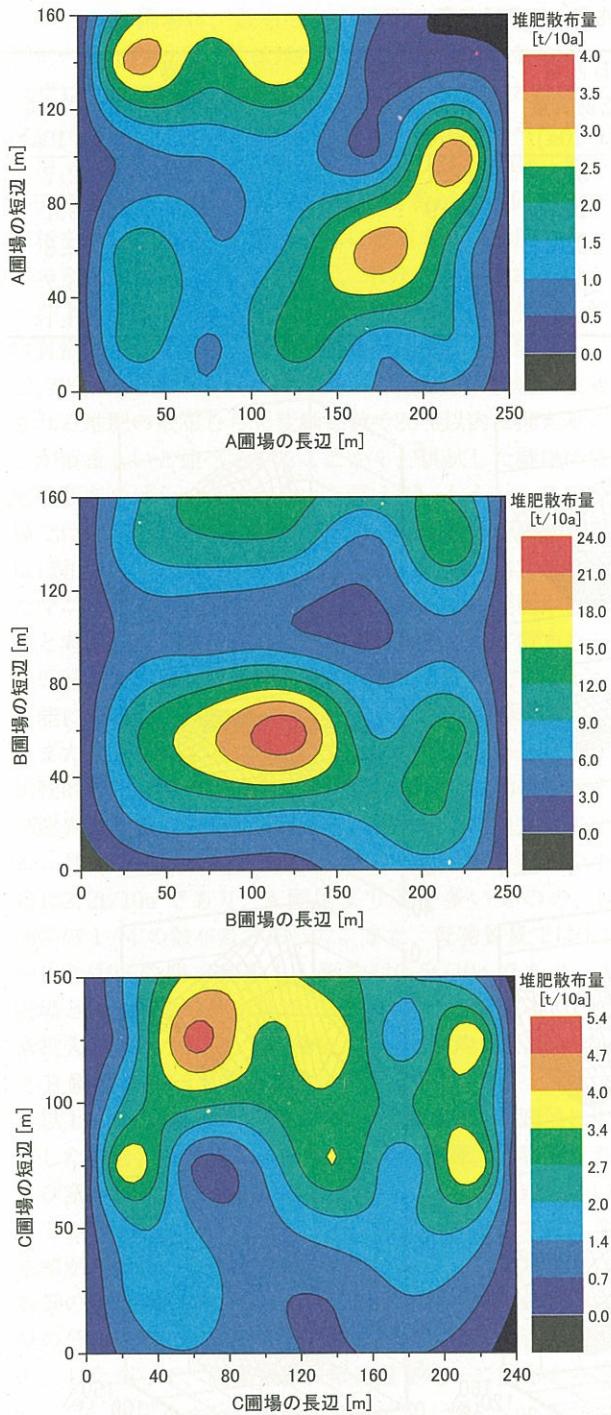


図2 各圃場の堆肥散布量の圃場マップ

表1 各圃場の堆肥散布状態

堆肥の散布量	A圃場	B圃場	C圃場
最大 [t/10a]	3.4	22.8	5.0
最小 [t/10a]	0.2	2.4	0.6
標準偏差 [t/10a]	1.0	5.1	1.4
平均 [t/10a]	1.6	8.8	2.2
変動係数 Cv [%]	61.6	57.8	63.9

m, 縦60mの地点での散布量は最大で22.8t/10aと予定散布量の3.3倍であり、横175m, 縦100mの地点では最小の2.4t/10aと予定散布量の約1/3であった。また、散布量の変動係数は57.8%であり、堆肥の散布量は大きく変動することが明らかとなった。

下図のC圃場の場合、全体的に見ると散布作業の前半(図の下半分)では散布量が比較的少なく、その変動も小さいが、後半になると散布量は増加し、その変動も大きくなかった。これは前半にはバーク堆肥が散布され、後半には藁入り堆肥が散布されたことに起因する。散布量は最大5.0t/10aであり、最小が0.6t/10aであった。散布量の変動係数はA圃場およびB圃場より大きく63.9%であった。

以上のように、マニュアルプレッダの散布機構や堆肥の物理的性状によって堆肥散布のばらつきが大きくなることが明らかとなった。現状では、十勝地方において利用されている堆肥の性状は、農家によって大きく異なる。このばらつきを少なくするために堆肥の質や堆肥散布作業の方法を検討する必要があると考えられる。

III 堆肥の散布量と窒素投入量の圃場内分布

一般に、農家がその都度施用している堆肥の理化学的特性が異なると、圃場に散布される堆肥の窒素投入量にもばらつきが生じると考えられるが、これまでその窒素投入量の圃場内分布については報告されていない。そこで、本研究は、圃場に散布された堆肥の窒素投入量を把握するために、一般に利用されているマニュアルプレッダの中で、散布機構が異なる3機種を供試し、それぞれの圃場について堆肥の散布量、含水率、窒素投入量を分析し、それらの圃場内分布の変動を検討した(申ら, 2011, 加藤ら, 2012)。

調査方法は、前節と同様に圃場に受け箱を配置し、散布された堆肥を全量ビニール袋に入れて実験室に持ち帰った。その後、堆肥の含水率と窒素含有量は、試料を105°C・24時間通風乾燥して微粉碎し、CHN全自動元素分析装置(Elementar, varioEL)で乾式燃焼法により求め、散布された堆肥の内部の窒素含有量のばらつきを評価した。

A, B, C圃場に散布された堆肥の現物質量、含水率、乾物質量および窒素投入量を表2に示し、これらの分布状態を図3に立体図として示す。各図の水平軸は圃場の長短辺を示し、縦軸は散布された堆肥の現物質量や含水率、乾物質量、窒素投入量を示す。

左図のA圃場の場合、堆肥の現物質量と乾物質量のピークが現れる圃場内の位置は、現物質量の場合、長辺120m、短辺100mに対して、乾物質量では長辺200m、短辺120mと異なる。これは、その位置での現物質量のピークが3.4t/10aであったが、その位置での堆肥の含水率は72.9%であり、それを乾物質量に換算すると0.9t/10aとなる。一方、乾物質量がピークとなる位置では現物質量

表2 各圃場の堆肥散布量と窒素投入量

	A圃場			B圃場			C圃場		
	現物質量 [t/10a]	乾物質量 [t/10a]	窒素投入量 [kg/10a]	現物質量 [t/10a]	乾物質量 [t/10a]	窒素投入量 [kg/10a]	現物質量 [t/10a]	乾物質量 [t/10a]	窒素投入量 [kg/10a]
最大	3.4	1.3	23.1	22.8	3.7	62.1	5.0	1.2	22.7
平均	1.6	0.5	10.3	8.8	1.6	26.9	2.2	0.5	9.1
最小	0.2	0.1	1.1	2.4	0.5	8.6	0.6	0.1	2.3
標準偏差	1.0	0.3	5.7	5.1	0.8	13.3	1.4	0.3	5.7
変動係数[%]	61.6	52.7	55.1	57.8	53.2	49.3	63.9	59.3	63.1

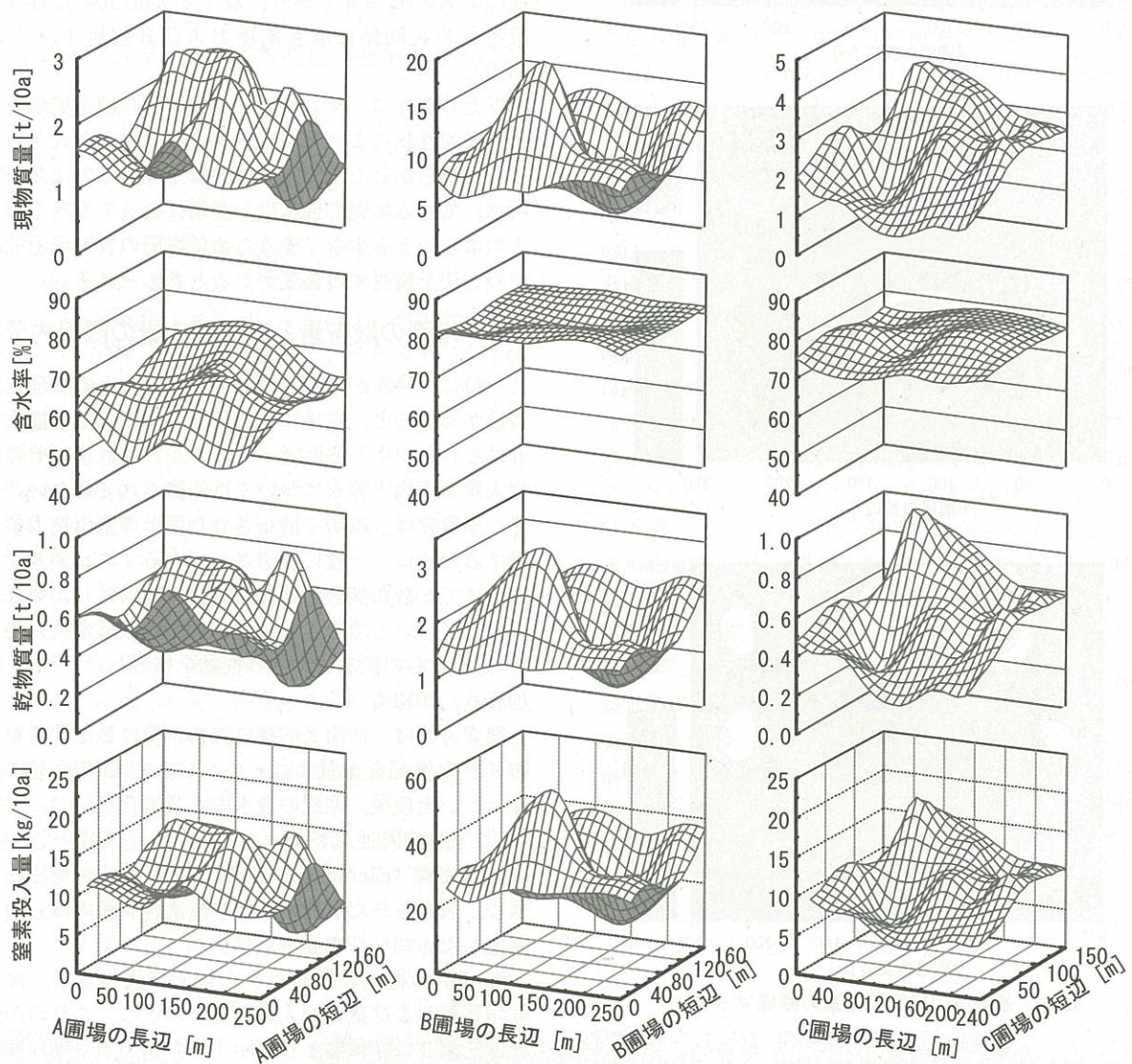


図3 各圃場の散布堆肥の現物質量、乾物質量、窒素投入量の分布

が3.0t/10aであったが、その位置の含水率が63.0%であったため、乾物質量に換算すると1.1t/10aと逆に大きくなってしまうことに起因する。このように、A圃場では、含水率が異なる堆肥が散布され、その堆肥の現物質量と乾物質量の間には、分布形状に大きな違いが現れた。つぎに、乾物質量と窒素投入量の分布形状を比較すると、ほぼ相似の凹凸の形状を示している。長辺50m、

短辺40m付近では、乾物質量は0.8t/10aであり、圃場全体の平均以上の散布量となっている。しかし、窒素投入量は7.3kg/10aであり、平均の10.3kg/10aより低くなる結果となった。これは、その位置で散布された堆肥の乾物あたりの窒素含有量が13.6g/kgと少なかったためであり、原料堆肥そのもののばらつきが原因となっている。

中図のB圃場は、散布された堆肥の現物質量と乾物質量の分布の凹凸形状はほぼ同様であった。現物質量は長辺125m、短辺60m付近で22.8t/10aの最大となり、最小は長辺125m、短辺60m付近で2.4t/10aであった。また、乾物質量はそれぞれの位置で最大3.7t/10a、最小0.5t/10aであった。このように、両者がほぼ同じ分布形状を示した理由は、圃場全体に散布された堆肥の含水率の変動係数が2.8%と小さく、水分が均一であったことによるものである。なお、B圃場全体の現物質量、乾物質量および窒素投入量の変動係数はそれぞれ57.8%，53.2%，49.3%であった。古橋ら（2002）は圃場に散布される堆肥の散布むらを変動係数で20%以内に抑えることが望ましいと述べていることから、供試した圃場の堆肥の散布のばらつきは大きいと言える。しかし、この圃場では、現物質量と乾物質量および窒素投入量の分布はほぼ相似の凹凸形状を示していることから、前節で述べたマニュアスプレッダの散布特性に起因する要因が大きいと考えられ、慣行機の散布精度を向上させて散布むらを低減できれば、窒素投入量のばらつきを抑えることが可能になると思われる。

また、右図のC圃場では、含水率がB圃場と同様に比較的均一であったことから、現物質量と乾物質量および窒素投入量の分布はほぼ相似の凹凸の形状を示している。具体的には、現物質量は0.6~5.0t/10aの範囲で平均は2.2t/10aであり、A圃場より若干多いものの、B圃場の1/4の散布量であった。また、乾物質量では0.1~1.2t/10aの間で変動し、平均は0.5t/10aであり、A圃場とほぼ同様の散布量で、B圃場の1/3であった。窒素投入量は最大が22.7kg/10aであり、平均は9.1kg/10aとB圃場の1/3であった。

以上のように、マニュアスプレッダで堆肥を圃場に散布した場合、各圃場に散布された現物質量、乾物質量および窒素投入量の分布から、それらのばらつきが大きいことが明らかになった。しかし、BとC圃場では、含水率が高いながらもそのばらつきが少なく、また窒素含有量の変動も少ないとから、散布された堆肥の現物質量の分布形状と窒素投入量の分布形状がほぼ一致している。したがって、圃場全体に窒素量を均一に散布するためには、堆肥を十分に混和して水分を一様にし、かつマニュアスプレッダの散布精度を向上させることが必要であると思われる。

IV RTK-GPSによるマニュアスプレッダの作業軌跡評価

慣行のマニュアスプレッダで高水分の堆肥を圃場に散布する場合、散布量のばらつきが生じる。その原因是、堆肥の物理的性状やマニュアスプレッダの散布機構の他に、トラクタの作業速度や隣接行程の走行間隔などの作業精度の低下が考えられる。そこで、この研究では堆肥散布時のトラクタ運行に着目し、RTK-GPS測量システ

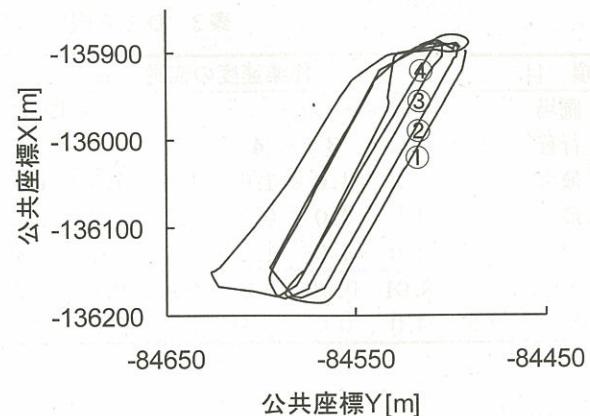


図4 D圃場での堆肥散布時のトラクタの作業軌跡

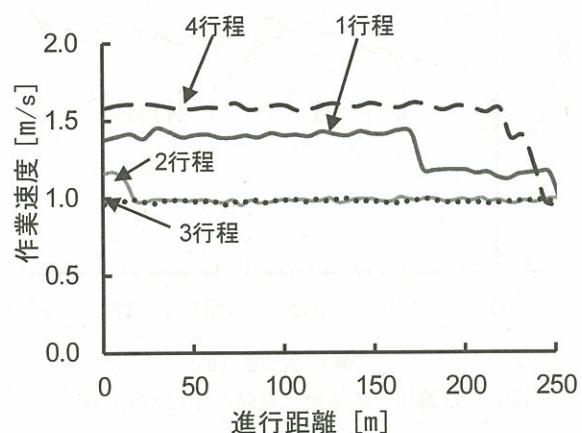


図5 D圃場の散布作業時の作業速度の変化

ムを利用してその作業軌跡を計測し、作業速度や走行間隔などの作業状態の変動を評価した（Shen et al., 2011a, Shen et al., 2011b）。

供試機はトラクタけん引式の積載容量10m³の左側方散布型のD機と8m³の横軸ビータ型のE機の2機種である。圃場内のトラクタの走行軌跡を計測するために、測定精度が1~2cmのRTK-GPS（Nikon, logpak II）を利用した。図4は、GPSで計測したA機のトラクタ走行の作業軌跡の一例を示すが、図中の①~④行程は散布作業時の走行軌跡であり、他の曲線は堆肥のたい積場所に戻るためのトラクタの移動軌跡である。各行程の作業速度や各行程間の走行間隔は、Microsoft Excel 2007のVBAを利用し、最小二乗法で自動計算した。

図5と表3はD圃場で各行程ごとの堆肥散布時の作業速度の変化を示す。3行程目の場合、作業速度の平均は1.0m/sで標準偏差が0.01m/sであり、その変動はほとんど無かったのに対し、1ならびに4行程目の作業速度はそれぞれ1.0~1.5m/s, 0.9~1.6m/sの範囲で大きく変動し、それらの変動係数は約10%であった。また、行程相互の作業速度を比較すると4行程目の最大速度は1.6m/sであり、3行程目の約1.6倍であることから、PTO回転数やマニュアスプレッダのフロアコンベヤの

表3 DとE圃場の堆肥散布時の作業速度と走行間隔

項目	作業速度の変動 [m/s]								走行間隔の変動 [m]							
	D圃場				E圃場				D圃場				E圃場			
圃場	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1-2	2-3	3-4	1-2	2-3	3-4	4-5
行程	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1-2	2-3	3-4	1-2	2-3	3-4	4-5
最大	1.5	1.2	1.0	1.6	1.5	1.5	1.8	1.5	1.7	7.7	9.6	7.6	5.1	4.9	4.5	3.5
最小	1.0	1.0	1.0	0.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	6.3	8.2	5.5	3.6	3.8	3.4	2.8
平均	1.3	1.0	1.0	1.5	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	6.9	9.1	6.6	4.3	4.3	3.9	3.1
SD	0.1	0.04	0.01	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2
CV[%]	9.9	4.0	0.9	11.0	6.4	7.8	12.8	8.9	14.5	4.1	3.4	7.7	11.3	7.7	9.1	5.5

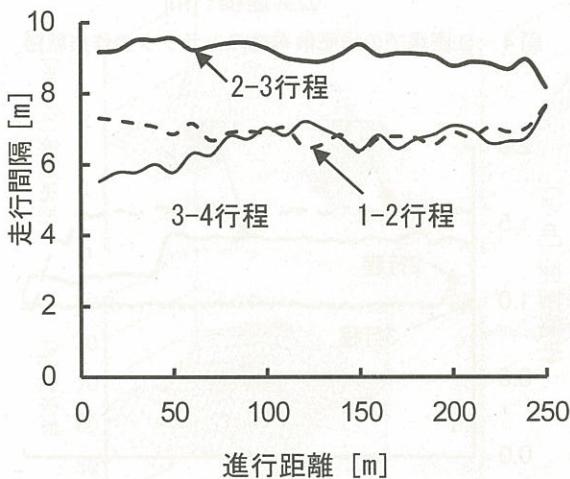


図6 D圃場での堆肥散布時の走行間隔の変化

送り速度を変更しない限り、作業速度の変動による堆肥の散布量のばらつきが生じると考えられる。

D圃場での隣接行程の走行間隔の変化を図6に示し、その詳細を表3に示す。D機の堆肥の散布量分布は中央に集中し、その有効散布幅は5mであるが、2ならびに3行程目の走行間隔の最大は9.6mであり、この地点では、幅4.6mの散布残しが生じたと考えられる。また、表3に示すように、個々の走行間隔の標準偏差はさほど変動しなかったが、各行程間を比較すると、2と3行程の走行間隔は平均9.1mであり、3と4行程の走行間隔6.6mよりも2.5m広くなっていた。一方、E圃場では、供試機の有効散布間隔が3mであるのに対し、走行間隔の平均が3.9mと約1m幅広くトラクタが走行した。

以上のように、各圃場での作業速度や走行間隔は一定ではなく、堆肥散布作業精度の低下につながると推測される。したがって、十勝地方のような大規模区画の圃場では、GPSトラクタガイダンスシステムなどの利用が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究は2009年4月から始まった帯広畜産大学研究プロジェクト「炭素・窒素・リンの有効利用による環境保

全型農法の構築（アグロエコ）プロジェクト」のなかで生産システム工学チームが支援を受けて行った研究の一部であり、記して謝意を表する。また、実験の遂行に当たり協力してくれた、帯広畜産大学農作業システム工学研究室の学生諸君および調査実験に協力して頂いた十勝地方の農家の方々に深謝する。

最後に、筆者らは持続的農業の発展のために、堆肥の有効活用とその散布実態解明および散布精度の向上に関する研究を行ってきたが、いずれの研究もまだ途上である。これらの研究は、北海道の大規模農業での圃場管理技術のひとつとして、今後北海道農業や農業機械の発展に貢献する研究であると考えている。

参考文献

- Favoino, E., Hogg, D., 2008, The Potential Role of Compost in Reducing Greenhouse Gases, Waste Manage Res, 26 (1), 61-69
- 古橋拡明, 田中勝千, 本橋園司, 高野 剛, 2002, 草地における圃場情報システムの作成(第5報)-肥料散布マップ作成プログラムの開発と作成例-, 第61回農業機械学会講演要旨, 375-376
- 加藤 拓, 申 宝明, 林 美俊, 宮竹史仁, 小池正徳, 佐藤禎稔, 谷 昌幸, 2012, 北海道十勝地域の大規模普通畑圃場における堆肥散布に伴う肥料成分施肥量の分布, 農業施設, 43(1・2), 33-40
- 李 香珍, 谷 昌幸, 相内大吾, 小池正徳, 倉持勝久, 2009, 圃場還元利用されている実際的な牛ふん尿堆肥に含まれる腐植酸およびフルボ酸の化学的特徴, 日本国土壤肥料学雑誌, 80(4), 335-346
- 申 宝明, 佐藤禎稔, 岸本 正, 谷 昌幸, 仙北谷康, 加藤 拓, 林 美俊, 2010, マニュアスプレッダの堆肥散布機構と散布精度, 農業機械学会北海道支部会報 50, 25-30
- ShenB., T.Satow, S. Maeda, 2011a, Evaluation of Travel Tracks of Tractor-drawn Manure Spreaders Using RTK-GPS, Engineering in Agriculture, Environment and food, 4 (4), 112-118
- Shen B., T. Satow, S. Maeda, T. Kishimoto, 2011b, Evaluation of compost application accuracy and

- travel tracks of tractor-drawn manure spreader, The
4th Asian Conference on Precision Agriculture, 2011
杉浦 綾, 野口 伸, 石井一暢, 寺尾日出男, 2005, ハ
リコプロペースリモートセンシングのための飛行モニ
タリングシステム, 農業機械学会誌, 67(2), 86-92
吉野宣彦, 2000, 酪農專業地帯における経営改善とふん
尿問題, 21世紀へのマニュア・テクノロジー, 180-
188