



Title	穀類共同乾燥調製施設における混雑の特徴と待ち時間関数の推定
Author(s)	合崎, 英男; Aizaki, Hideo
Citation	北海道大学農経論叢, 56, 63-75
Issue Date	2000-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11192
Type	departmental bulletin paper
File Information	56_p63-75.pdf



穀類共同乾燥調製施設における混雑の特徴と待ち時間関数の推定

——リンク・パフォーマンス関数によるアプローチ——

合 崎 英 男

Characteristics of Congestion and the Estimation of a Waiting Time Function : A Case of Grain Related Facilities

Hideo AIZAKI

Summary

The behavior of users (farmers) and administrators (JA) jointly, not separately, needs to be examined in order to realize efficient operation of grain related facilities. For this analysis, facilities such as club goods (whose benefits could be excluded and are partially nonrival), we have to formulate a 'waiting time' function which explains the relationship between waiting time and the number of vehicles arriving at a pick up point. This 'waiting time function' for grain related facilities, which is similar to the "link performance function" for uses of intranet network analysis, uses the data gathered at the facility in Biei Town, Hokkaido. Our major conclusions are summarized as follows. First, of the different types of vehicles (dump truck or track) load volume and state of packing must be converted to equivalent number of standard vehicles units which are similar to a passenger car's units in traffic engineering. Second, it is shown that the estimated goodness-of-fit waiting time function using converted data is better than using non-converted data.

1 はじめに

米の流通・消費動向の変化への対応や高収益作物の導入による地域農業の振興などに関わって、米の共同乾燥調製・貯蔵施設（以下、共乾施設）に対する期待は益々高まってきている。しかし、多くの共乾施設が低稼働率の問題に直面している（註1）。稼働率が低いと赤字運営に陥るだけではない。計画処理量が達成されないことを意味するので、ロットの確保という米産地形成の要件にも抵触する可能性が大きくなる。したがって、稼働率を高める方策を考案することは重要な課題である。

ところで、既存研究では分析対象を施設あるいは利用農家のみ限定した研究が多く、利用農家と事業主体（農協）、さらにクラブ財としての共乾施設の特徴（混雑現象）まで含めた「共乾システム」として捉えてきたとは言い難い。たとえば、稼働率の向

上は利用料金を低下（平均運営費用の低減）させて、効率的な施設運営を可能にすると考えられている。しかし、ほかの条件を一定とすれば、稼働率の向上は到着ロット数を増加させて、荷受口の混雑（待ち時間）を発生させる。利用農家から評価すれば、待ち時間は施設を利用するために時間という希少資源を浪費することである。さらに待ち時間が長くなれば、荷受段階での品質事故や収穫作業の遅れによる米の品質低下などが引き起こされる可能性が高まる。したがって、待ち時間は農家の利用行動を規定する要因の1つであり（朽木[4]、合崎・永木[1]）、農家行動を通じて稼働率（荷受量）に影響を及ぼす。このように農家行動、運営費用（利用料金）、および待ち時間（混雑）は相互に密接な関連があり、稼働率の向上策を含めて施設の運営方法を検討するためには、これらを包含した共乾システムとしてモデル化（連立方程式体系）する必要がある。

このうち待ち時間に関する既存研究では、待ち行列理論に基づいたシミュレーション分析（待ち時間シミュレータ）が主流であった（華ほか [3], 下村 [7]）。待ち時間シミュレータは、共乾施設の詳細な技術仕様や農家の利用行動（施設への到着パターン）などの情報を用いて、技術的な観点から施設能力を検討する際には有用なシステムである。しかし、経済的な視点から共乾システムを連立方程式体系として設計し、その一部に待ち時間シミュレータを含めるならば、均衡解を求めるための収束計算1回ごとにシミュレータを実行する必要がある、効率的な方法とは言えない。交通経済学の1分野である交通ネットワーク分析では、類似した問題に対処するため、リンク・パフォーマンス関数を用いている。リンク・パフォーマンス関数とは、一定区間の道路（リンク）の交通量と通過時間（パフォーマンス）との関係を表す関数である。これを道路利用者の経路選択行動モデルと組み合わせることで、交通ネットワークの各リンクを流れる交通量をシミュレートすることが可能となる（松井 [5], p.1）。

そこで本稿は、共乾システムを構築するための1課題として、リンク・パフォーマンス関数を援用して共乾施設における待ち時間関数を設定・推定することを目的とする。

本稿の構成は、つぎのとおりである。第2節では、事例地域および施設を概観する。第3節では、調査項目・方法およびリンク・パフォーマンス関数について述べる。第4節では、事例施設でのタイム・スタディにもとづいて、施設での車両の行動および所要時間を整理した上で、待ち時間関数を推定する。第5節で、以上のまとめとする。

2 地域および施設の概要

1) 美瑛町稲作農業の特徴

本稿で取り上げる施設は、北海道上川郡美瑛町に設置されている美瑛町農協（以下、JA美瑛）のライス・センター（以下、美瑛RC）である。事例施設の選定にあたっては、本稿の課題である待ち時間の分析と、別稿で検討する「共乾システム」分析、特に農家行動分析の要件とを合わせて決定した。

第1の条件は、利用農家率が高く、利用農家数が多いことである。施設規模にも依存するが、利用農家数が少なければ混雑現象は生じない。1995年農業

センサスによれば、籾の乾燥作業を農協へ委託した農家の割合は、北海道全体で11%ほどである（註2）。表1は、美瑛町における籾の収穫・乾燥調製の作業状況を示す（註3）。乾燥・調製作業については、共乾施設を利用している農家が全体の約3割（約90戸）であり、利用農家率、利用農家数ともに北海道内でも上位に位置付けられる。

第2は、生籾での受け入れを基本とすることである。近年、北海道では、（半）乾籾あるいは玄米の受け入れを中心とした施設の設置が増加している（註4）。乾籾や玄米での荷受が主流であれば、農家は搬入時刻を比較的自由に調整でき、施設での混雑は発生しにくい。その点、美瑛RCは原則として生籾を受け入れる施設である。

第3の条件は、水稻作付面積が大きな稲作農家と多様な経営形態の農家が存在することである。利用農家率が高い施設では、受益地域の1戸あたり水稻作付面積が小さいケースもみられる。作付面積は農家の利用行動を規定する要因の1つであるが、大規模化することで施設を部分的に利用するようになるケースもみられる（塩谷・平泉 [8]）。この点を分析するためには、小規模層から大規模層まで農家が分布している必要がある。美瑛町については、平成11年度の稲作農家戸数は238戸、1戸あたり平均作付面積は4.42ha、最大作付面積は約23ha、水稻作付面積5ha以上の農家は4割ほどである。また、施

表1 収穫・乾燥調製作業の状況（平成7年）

〈農家戸数〉		総農家	稲作農家
戸数		778戸	314戸
割合		100.0%	40.4%
〈機械所有状況〉			
		コンバイン ²⁾	乾燥機
個人所有数		222戸	224戸
割合 ¹⁾		70.7%	71.3%
共同所有数		41戸	13戸
割合 ¹⁾		13.1%	4.1%
〈作業委託状況〉			
		収穫	乾燥調製
委託農家数		26戸	106戸
割合 ¹⁾		8.3%	33.8%
委託先	農家	84.6%	8.5%
	組織	15.4%	3.8%
	農協	0.0%	87.7%

出所)『農業センサス(1995年)』より作成。

註1) 稲作農家数に対する割合を示す。

2) 自脱型コンバインのみ。

設の管理主任によれば、作付規模の大きい稲作農家も美瑛 RC を部分的に利用している。

他方、作付規模以外にも、労働力や機械設備の所有状況、稲の収穫・乾燥調製作業と競合する複合経営部門の有無などが、農家行動に影響を与えると考えられる。したがって、農家行動分析のためには、多様な経営形態の農家が含まれる必要がある。表 2 は、美瑛町の稲作農家を経営形態別に分類した結果を示している。全稲作農家のうち稲作に主軸をおいている農家は 2 割強であり、そのほかは野菜や畑作部門を有する稲作複合経営農家である。また、旭川市に近いこともあり、稲作部門をメインとする農家（田専業）では、約半数が兼業農家である。他方、野菜あるいは畑作との複合経営農家では、ほとんどが農業専業である。このように美瑛町の稲作農家は、「稲作専業農家」、「稲作兼業農家」、および「稲作複合経営農家」の 3 つに分けられ、作付規模以外の要因についても分析可能である。

2) 美瑛ライス・センターの設備概要

美瑛 RC は、第 1 次構造改善事業により昭和 44 年に設置・運用開始され、当初は米の乾燥調製を中心としていた。しかし、生産調整により転作作物として小麦の導入が進む一方、畑作農家の小麦作付面積も拡大し、昭和 50 年代初頭には本格的に米麦共用施設として運営されるようになった。小麦作付面積の急速な拡大に対応して設備の拡充が図られ、現在では米・小麦・大豆共用施設として運営されている（註 5）。

表 3 は、施設設備の概要および稼働実績を示している。荷受部は 6 系列 7 ホッパーであり、1 系列のみ 2 ホッパー、ほかの 5 系列は各 1 ホッパーである。1 系列のみホッパーを排他的に利用するため、同時に荷受可能なホッパー数は 6 口、系列全体で 190 t/h の荷受能力がある。乾燥機はすべて連続流下式であり、合計で 12 基 (453 t) になる。ただし、2 基 (48 t) は 2 次乾燥専用機として利用されている。荷受後の生粳は、1 次乾燥で含有水分率を 18% 程度まで下げたあと、テンパリングされて 2 次乾燥にまわされる。貯留ビン は合計で 4,272 t (66 本) である。そのうち 1,200 t (20 本) は 1 次乾燥後の粳を、768 t (16 本) は 2 次乾燥後の粳を貯留するタンクとして利用されている。このほかのビン (2,304 t) が各乾燥機に付随しており、乾燥機が満杯のときに搬入された

表 2 経営形態別にみた稲作農家数 (平成 10 年)

経営形態	全 体		専業・兼業比率	
	戸数(戸)	割合(%)	専業(%)	兼業(%)
田 専 業	53	25.1	47.2	52.8
田・野菜複合	83	39.3	97.6	2.4
田・畑複合	75	35.5	98.7	1.3
合 計	211	100.0	85.3	14.7

出所) 大雪地区農業改良普及センター資料より作成。

生粳を一時的に蓄えるために利用されている。

平成 11 年度に設定された荷受品種は、「きらら 397」、「ほしのゆめ」、「あきほ」、および「ゆきまる」である。品種別の荷受割合 (生粳ベース) は、「きらら 397」が 62.6%、「ほしのゆめ」が 21.6%、「あきほ」が 15.8% であり、結果的に「ゆきまる」の荷受実績はなかった。

なお、本稿では分析対象外となるが、JA 美瑛には憩ライス・センター (以下、憩 RC) と水上ライス・センター (以下、水上 RC) もある。平成 11 年度より、憩 RC では美瑛町の一部の集落で取り組んでいる特別栽培米、上川郡鷹栖町に設置されている上川ライス・ターミナル (以下、上川 RT) 向けの米の一部、および種子用小麦の乾燥作業を担っている。水上 RC は施設を改造して、種子用小麦の消毒施設として活用されている。これらは、昭和 62 年 3 月の農協合併により旧美瑛開拓農協から引き継がれた施設である。

3) 運営主体およびルール

美瑛 RC の運営は、JA 美瑛 (6 名)、美瑛町役場 (2 名) および生産者代表 (12 名) から構成される運営協議会が担っており運営規定などを決定している。以下、主要なルールとして、「荷受時間・期間」、「費用負担」、および「自主検定」について述べる。なお、収穫・運搬作業形態に関するルールは設定されていない。

荷受時間は、午前 8 時から午後 6 時までの 10 時間である。荷受期間は、稲の生育状況を勘案しながら毎年調整されるため一定ではないが、おおそ 9 月中旬から 10 月上旬である。実荷受日数は 25 日間ほど、そのうち荷受が集中する期間は 12 日間程度である。

運営費用は、すべて施設収入 (利用料金、包装料および雑収入) により賄われている。そのため、利用料金は施設の稼働終了後に含有水分率別に決定さ

表3 美瑛 RC の設備および稼働実績 (平成 11 年)

	能力	台数	設置年	荷受口	備 考
荷受設備	30 t/h	1	昭和 49 年	3	4, 5 荷受口は 1 系列 2 ホッパーのため排他的利用
	30 t/h	1(2)	昭和 54 年	4, 5	
	30 t/h	1	平成 2 年	2	
	20 t/h	1		1	
	40 t/h	2	平成 11 年	6, 7	
計	190 t/h	6(7)			
貯留設備	48 t	16	昭和 44 年	—	2 次乾燥後の籾貯留用
	60 t	20	昭和 49 年	—	1 次乾燥後の籾貯留用
	60 t	6	昭和 52 年	3	
	83 t	6	昭和 54 年	4, 5	
	83 t	2	昭和 63 年	4, 5	
	80 t	6	平成 2 年	1, 2	
	80 t	10	平成 11 年	6, 7	
計	4,272 t	66			
乾燥設備	24 t	2	昭和 44 年	—	連続流下式 (2 次乾燥専用)
	33 t	1	昭和 52 年	3	連続流下式
	33 t	2	昭和 54 年	4, 5	連続流下式
	33 t	2	昭和 63 年	1	連続流下式
	48 t	1	平成 2 年	2	連続流下式
	48 t	4	平成 11 年	6, 7	連続流下式
計	453 t	12			
稼働実績					
	米荷受量 (生籾)		2,300 t ¹⁾		
	きらら 397		62.6%		
	ほしのゆめ		21.6%		
	あきほ		15.8%		
	利用料金		1,378 円/60 kg ²⁾		
	平均含有水分率 (生籾)		28.6%		

出所) JA 美瑛資料より作成。

註 1) ほかに (半) 乾籾が 32 t, 惣 RC で処理された籾が 368 t ある。

2) 平均含有水分率での利用料金である。

れ, 年末に一括して利用農家から徴収されている。

自主検定は 2 段階に分けられており, 1 回目の検定は受付段階で実施されている。籾は, 「未成熟米(青米)」、「整粒」, および「着色米」の割合に応じて, 「A」, 「B」, 「C」, および「トC (倒伏)」の 4 ランクに区分される。品種とランクによって, 張り込む荷受口が指定される。2 回目是一般に「自主検定」と呼ばれている検定である。計量中にサンプルを自動抽出し, 「含有水分率」, 「精籾歩合」, 「被害粒歩合」, 「籾摺り歩合」, 「精玄米歩合」, および「屑米歩合」を検査する。自主検定の結果により, 個人別に利用料金総額および持ち分が算定される。なお, 受付時のランク検定によって, きらら 397 の上位ランク米の一部は上川 RT 向けとして惣 RC で処理される。したがって, 美瑛 RC に到着した車両台数は, 美瑛 RC に籾を荷下した車両台数を上回る。

以上のようなルール設定から, 美瑛 RC は自由利用型施設と位置づけられる。また, 自由利用型施設である一方, 地域の自然条件および荷受品種の品種特性から, 図 1 に示されるように稼働期間中の荷受

量の分布は単峰型であり, 短期間に荷受が集中している。

3 調査および分析方法

1) 施設到着後の車両の行動と調査項目

図 2 は, 美瑛 RC に到着した車両がホッパーに籾を張り込み終えるまでの行動と対応する時間を示している。施設に到着した農家は, 受付にサンプル籾を提出してランク検定を受ける。ランクと品種にもとづいて指定された荷受口まで車両を移動させる。荷受口にほかの車両が入っていなければ, バックで車両を入れる。ほかの車両が籾を張り込み中であれば, 荷受口の近辺で待つ。所定の位置に車両を停車させた後, トラックであればフロア・ジャッキで車両を斜めに傾け, ダンプであれば荷台を傾ける。すべての籾をホッパー内に張り込み終えたら, フロア・ジャッキ (荷台) を元の状態に戻す。荷台上に残った籾を圧縮空気やほうきで掃き落とした後, 荷受口から車両を出して圃場 (あるいは自宅) へ戻る。

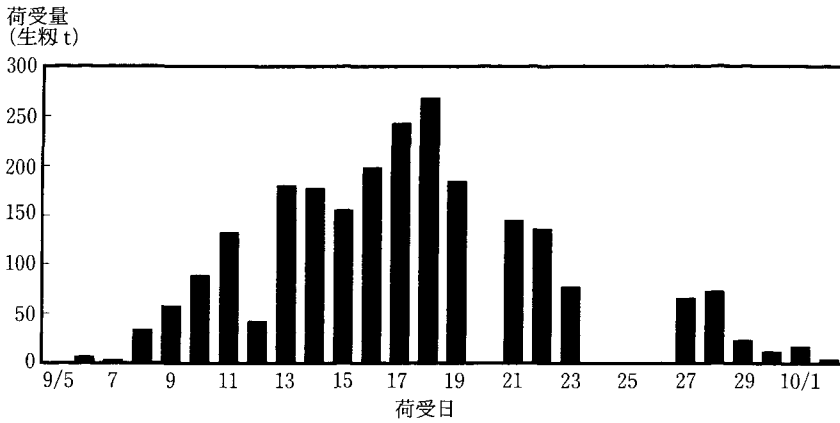


図1 美瑛RCの日別荷受量 (平成11年)

出所) 表3に同じ。

このような車両の行動を踏まえて、以下に示す各時刻を設定した。

- ①受付到着時刻：粳を運搬してきた車両が「受付」前にある駐車場で停止した時刻、もしくは行列の最後尾で停止した時刻。
- ②受付出発時刻：受付を済ませて車両が動き出した時刻。
- ③荷受口到着時刻：車両の前部が荷受口の入り口をバックで通過した時刻。
- ④荷下開始時刻：フロア・ジャッキ（荷台）が上昇を開始した時刻。
- ⑤荷下終了時刻：フロア・ジャッキ（荷台）が降下し、床と水平になった時刻。
- ⑥荷受口出発時刻：車両の前部が荷受口の入り口を通過した時刻。

さらに、これらの各時刻から、つぎのように所要時間およびその内訳を定義した。

- ①所要時間＝荷受口出発時刻－受付到着時刻
- ②受付時間＝受付出発時刻－受付到着時刻
- ③移動時間＝荷受口到着時刻－受付出発時刻
- ④荷下準備時間＝荷下開始時刻－荷受口到着時刻
- ⑤荷下時間＝荷下終了時刻－荷下開始時刻
- ⑥出発準備時間＝荷受口出発時刻－荷下終了時刻
- ⑦待ち時間＝移動時間＋荷下準備時間

2) タイム・スタディの概要

以上の各時刻を測定するために、稼働期間中の美瑛 RC で実測調査（タイム・スタディ）を実施した。実測期間は、平成 11 年 9 月 10 日から 23 日までの 14 日間であるが、2 日間は早朝からの雨天により調査を中止したことから、実調査日数は 12 日間である。この年は夏季に天候に恵まれて気温の高い日が続いたため、収穫開始日が例年に比べて 2 週間ほど

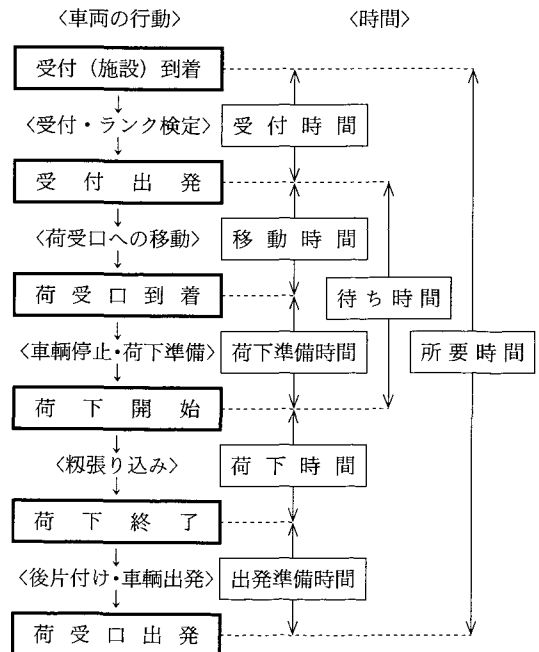


図2 施設到着後の車両の行動と所要時間の内訳

早まり、生初の荷受開始日が9月5日、荷受終了日が10月2日であった。測定開始時刻は午前8時、終了時刻は最後の車両が荷下作業を終了した時点である。車両1台ごとの行動と各時刻は、3名の調査員によって測定した(註6)。ただし、見落としも考えられたため、ビデオ・カメラ(以下、VC)を4台設置して各車両の行動を撮影した。

図3の施設配置と観測地点(VCの設置地点)に示されているように、分散して調査員を配したため、観測地点によって測定する時刻が異なる。第1 VCの設置地点に配置された調査員は、受付と第1および第2荷受口における車両の行動および時刻を測定

した。ほかの2名を第3 VCと第4 VCの設置地点に配置し、第3荷受口から第7荷受口における車両の行動と各時刻を測定した(註7)。なお、3名の調査員が分担して測定したため、時刻のほかに、「車両番号(ナンバー)」、「色」、および「特徴(クレーンの有無や車両形態)」を調査用紙に記入し、それらの情報にもとづいて特定の車両の各時刻を求めた。

以上の実測調査に加えて、荷受伝票から各車両の積載量(ロット重量)および初めの含有水分率を求めた。荷受伝票に記入されている、「受付到着時刻」、「車両番号(ナンバー)」、および初めを張り込んだ「荷受口」の情報を用いて実測データとの対応を図った。

農業倉庫群

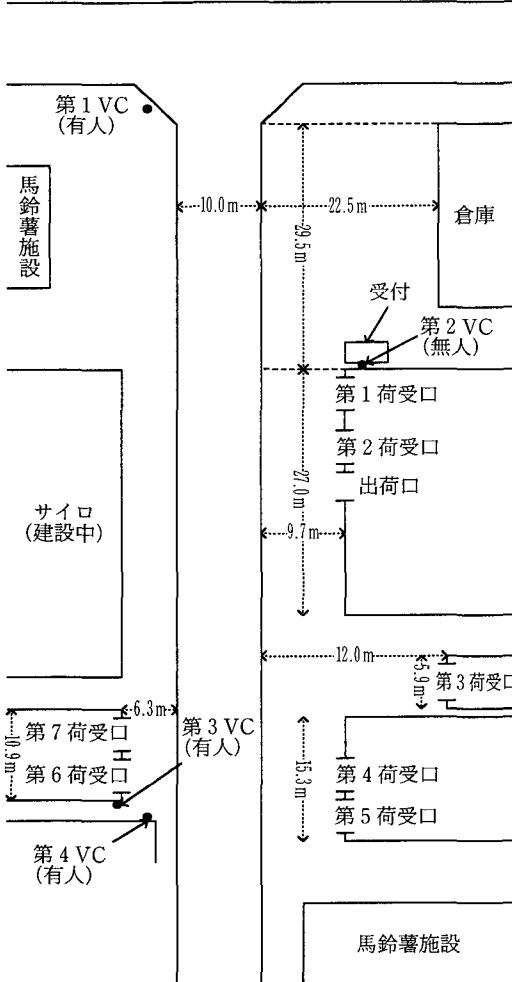


図3 施設配置および観測地点

註) メジャーによる測図のため設計図面上の数値とは異なる。

3) リンク・パフォーマンス関数と待ち時間関数の定式化

待ち時間関数を推定するためには、関数型を具体的に設定しなければならない。本稿では、交通工学におけるリンク・パフォーマンス関数(Link Performance Function)を援用する(註8)。「リンク」とは一定区間の道路を、「パフォーマンス」とは道路を通過するのに要する時間をそれぞれ表す。一般に、次式のように表される(Small [9], pp.70)。

$$T = T_0 + \alpha \cdot \left[\frac{V}{K} \right]^\beta \quad (1)$$

ただし、変数 T は一定区間の道路を通過するのに要する時間(通過時間)、変数 T_0 は混雑がないとき(自由フロー)の通過時間、変数 V は道路に参入した車両台数(参入車両台数)、変数 K は道路容量、 α および β はパラメータである。つまり、リンク・パフォーマンス関数は、単位時間に一定区間の道路へ参入してきた車両の通過時間を、道路への参入車両台数と道路容量により説明するモデルである。詳細は後に述べるが、変数 T に対応する時間を「待ち時間」、変数 V を「荷受口到着車両台数」、変数 K を「荷受能力」として共乾施設における待ち時間関数を設定する。

4 荷受作業の特徴と待ち時間関数の推定

1) 到着パターンおよび受付時間

図4は、1日の総ロット数に対する各時間帯に到着したロット数の割合(期間平均)を示している。1日の総ロットに対する割合は、午前11時までは1

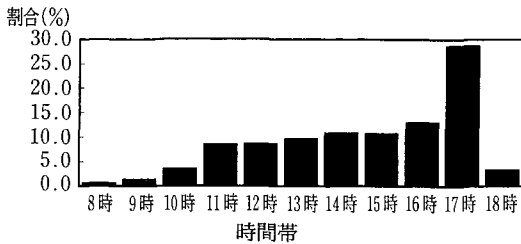


図4 到着時間帯別にみたロット割合
(調査期間平均: 666 ロット)

出所) 美瑛 RC 実測調査 (平成 11 年 9 月 10 日～23 日)
および JA 美瑛資料より作成。

時間あたり 1 割未満、午前 11 時から午後 5 時までは 1 時間あたり 1 割前後、午後 5 時以降では約 3 割である。紙数の制約上、1 日ごとの時間帯別ロット割合は省略するが、荷受量が少ない日や雨天日以外は、おおよそ同図のような分布となっている。午前 11 時までのロット数が少ないのは、受益地域における収穫作業の開始時刻が、午前 9 時から 10 時前後であることによる(註 9)。他方、午後 5 時以降の割合が高いのは(註 10)、大半の利用農家が受付終了時刻(午後 6 時)近くまで収穫作業をおこなっていることと、1 日に 1 度だけ施設を利用する農家が存在するためである。表 4 は、運搬回数別にみた農家割合を示している。最初の 2 日間を除けば、運搬回数が 1 回のみ農家は 1 日の利用農家数の 5 割前後である。そのうち 4 割前後の農家が午後 5 時以降に稲を搬入している。管理主任によれば、施設から遠距離にある農家や、作付規模が大きいものの所有している乾燥機の能力が不足している農家が、夕方に 1 度だけ稲を搬入するという。そこで以下では、到着パターン

が比較的近似していると考えられる午前 11 時から午後 5 時までの到着ロットを対象として分析を進める(註 11)。

表 5 は、日別の平均到着時間間隔を示している。最も短い日で 6 分 52 秒(18 日)、最長で 23 分 21 秒(23 日)、10 分あたり到着車両台数(到着率)は 0.42～1.47 台である。他方、図 5 は、受付時間別にみた農家割合を示している。平均受付時間は 9 分 31 秒であり、受付時間が 6 分台から 11 分台の範囲に、全農家の 9 割弱が含まれている。受付時の検定では、サンプル粉を乾燥・粉摺りする必要があるが、そのための設備として 5 台の簡易乾燥機と 1 台の粉摺機が用意されている。また、ランクを決定する権限を持っている検査員が 1 名と 1～2 名の補助員が受付に配されているが、検査員によれば粉摺り後の検定

表 5 受付への到着パターン
(午前 11 時～午後 5 時: 412 ロット)

荷受日	平均到着時間間隔	到着率(台/10 分)	ロット数
10 日	17 分 29 秒	0.56	20
11 日	10 分 21 秒	0.97	35
13 日	09 分 44 秒	1.03	37
14 日	11 分 12 秒	0.94	34
15 日	10 分 16 秒	1.03	37
16 日	09 分 02 秒	1.11	40
17 日	07 分 31 秒	1.33	48
18 日	06 分 52 秒	1.47	53
19 日	07 分 56 秒	1.28	46
21 日	17 分 21 秒	0.56	20
22 日	16 分 25 秒	0.75	27
23 日	23 分 21 秒	0.42	15

出所) 図 4 に同じ。

表 4 日別・運搬回数別にみた農家割合 (全期間: 666 ロット)

単位: %, 戸

運搬回数	荷 受 日											
	10 日	11 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日	19 日	21 日	22 日	23 日
6 回	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.9	0.0	0.0	0.0
5 回	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 回	4.3	0.0	2.8	2.6	2.7	5.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 回	8.7	32.0	16.7	10.5	5.4	18.4	18.2	11.5	14.7	3.6	10.3	11.1
2 回	13.0	40.0	27.8	28.9	40.5	23.7	34.1	28.8	32.4	42.9	31.0	27.8
1 回	73.9	28.0	52.8	57.9	51.4	52.6	45.5	57.7	50.0	53.6	58.6	61.1
午後 5 時以降 に 1 回のみ	47.1	0.0	47.4	50.0	52.6	45.0	35.0	43.3	17.6	66.7	29.4	18.2
利用農家数	23	25	36	38	37	38	44	52	34	28	29	18

出所) 図 4 に同じ。

註 1) 運搬回数が「1 回」の農家数に対する「午後 5 時以降に 1 回のみ運搬」した農家数の割合を示す。

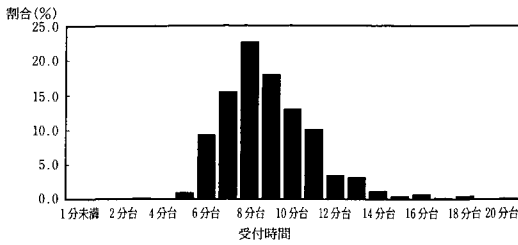


図5 受付時間別にみた農家割合
(午前11時～午後5時：406 ロット¹⁾)

出所) 図4に同じ。

註1) 午後5時前に受付に到着したが受付場所で荷受口が空くまで待っていたことが確実な4ロットと、受付でランク検定を受けずに荷受口に移動した2ロットを除く。

には1分間も要しない。したがって、現状の美瑛RCの受付能力(検査員数および設備台数)と利用農家数(到着パターン)を前提とすれば、午後5時までに到着したロットが混雑を原因として受付で待たされる可能性は極めて低い(註12)。つまり、受付時間は利用農家数と関係なく、待ち行列理論におけるサービス時間と見なせよう。

2) ロット重量と荷下時間

荷受口における待ち時間は、到着時間間隔(単位時間当たり到着車両台数)と荷受能力(荷下時間)により規定される。ただし、メーカー公称の荷受能力(t/h)と単純な到着車両台数を用いることには問題がある。荷受作業を担当している作業員および作業主任への聞き取り調査によれば、荷下時間に影響する要因には、①ロット重量(積載量)、②粕の含有水分率、③車両タイプ(トラックとダンプ)、④荷姿(ばら積みとフレコン・P袋：トラックのみ)、⑤荷台の形状・材質、⑥荷台の昇降速度(ダンプのみ)、などがある。したがって、能力が等しい荷受口であっても、これらの影響により荷下時間が異なる。その結果、到着車両台数(到着パターン)が等しいとしても、待ち時間に変化が生じる可能性がある。以下、「ロット重量」、「車両タイプ」、および「荷姿」と荷下時間の関係について検討する(註13)。

図6は、荷受口別にトラックが運搬してきたロットの重量と荷下時間の関係を示している。いずれの荷受口でもロット重量がある一定値を超えると、荷下時間が急速に長くなる傾向が見られる。図7は、

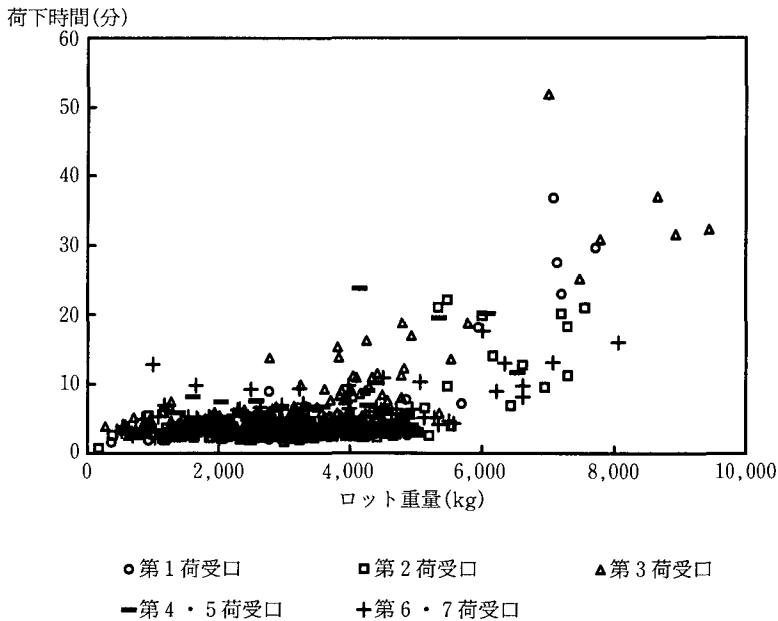


図6 ロット重量と荷下時間
(トラック：570 ロット¹⁾)

出所) 図4に同じ。

註1) 実調査12日間に美瑛RCへ到着したロットから、惣RCで処理されたロット、ダンプが運搬してきたロット、荷下時間が不明なロットを除く。

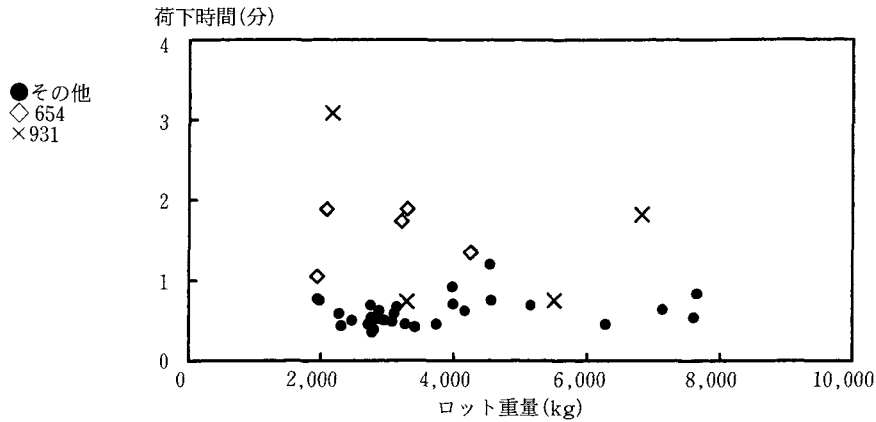


図7 ロット重量と荷下時間
(ダンプ：39 ロット²⁾)

出所) 図4 に同じ。

註1) 記号の番号は車両番号を表している。

2) 憩RCで処理された9ロットと荷下時間が不明な1ロットを除く。

ダンプに関する両者の関係を示している。縦軸(荷下時間)のスケールの違いに注意して図6と比較すれば、ダンプは相対的に荷下時間が短く、かつトラックで確認されたロット重量と荷下時間の関係は見られない。ダンプで運搬してきた場合、荷台を傾けたときの荷台最後部とホッパーの底辺との間隔が、トラックをフロア・ジャッキで傾けたときの間隔よりも広がる。そのため、ダンプはホッパーに張り込める粉の量がトラックよりも多くなる。さらに、ダンプでは荷台を傾ける時間がトラックをフロア・ジャッキで傾ける時間よりも短い傾向がある。このような特徴から、ダンプの荷下時間はトラックよりも短くなっている。

以上のデータ整理より、待ち時間と到着車両台数

(到着ロット数)の関係(待ち時間関数)を検討する際には、観測された到着車両台数を積載量と車両形態に基づいて修正する必要が認められる。そこで、ある一定量(臨界重量)以下の粉を積んでいる車両を「基準車両」、基準車両の荷下時間を基準として、臨界重量より多くの粉を積載している車両を基準車両台数に変換する係数を「基準車両換算係数」と定義し、本ケースにおける臨界重量と基準車両換算係数を求める(註14)。

紙数の制約上、荷受口ごとのロット重量と荷下時間の関係を示した散布図は省略するが、各荷受口とも表6に示す「臨界重量」を超えると、ロット重量の増加に応じて荷下時間が長くなる傾向が認められる(註15)。

表6 基準車両換算係数(トラック・ばら積み)

荷受口	臨界重量(kg)	基準ロットの平均荷下時間(秒)	回帰分析の結果				基準車両換算係数(台/kg)
			係数	t-値	決定係数 ¹⁾	標本数	
1	5,000	179	0.6848	8.9976	0.9418	6	0.00383
2	5,000	170	0.3994	5.3136	0.6531	16	0.00235
3	3,500	312	0.3541	13.1604	0.8124	41	0.00113
4・5	4,000	235	0.2780	3.2414	0.3686	19	0.00118
6・7	5,000	270	0.2439	5.7015	0.7304	13	0.00090

出所) 図4 に同じ。

註1) 定数項なしの最小2乗法における決定係数である。

2) 計測にはTSP 4.4を用いた。

まず、トラックが「ばら積み」で粉を運搬してきたケースについて、臨界重量を超過した重量（超過重量）と荷下時間の関係を回帰分析により検討する。ただし、臨界重量を超過したロット（車両）のみを対象とするため、臨界重量と基準車両の平均荷下時間が原点になるように対象ロットのデータを修正し、さらに切片をゼロに制約した。超過重量(kg 単位)を説明変数、荷下時間(秒単位)を被説明変数として最小 2 乗法により推定した結果が、同表の「係数」である。回帰係数は、臨界重量以上の範囲において、ロット重量が 1 kg 増加することで追加的に必要となる荷下時間を表す。換算係数は、回帰係数を基準車両の平均荷下時間で除して得た値となる。荷下時間を基準として、臨界重量を 1 kg 超過することが何台分の基準車両に相当するかを表している。たとえば、第 1 荷受口にトラックが 6,000 kg の粉を張り込むと仮定すれば、基準車両に換算して 4.83 ($= 1 + 0.00383 \times (6,000 - 5,000)$) 台に相当する。

なお、荷姿が「フレコン」および「P袋」の荷下時間は、その時に荷受口に待機していた作業員数やフォーク・リフトの準備状況などに影響を受けるため、荷下時間とロット重量との関係が明確ではなかった。これらのケース（13 ロット）では、各ロットの荷下時間を当該荷受口における基準車両の平均荷下時間で除して得た値を基準車両換算台数として求めた。

図 7 で確認したように、ダンプではロット重量が増加しても荷下時間が長くなる傾向は見られない。ただし、特定の 2 台（の一部ロット）については、荷下時間が 1 分以上となっている。荷下時間が長いロットの含有水分率が極端に高いことはなかった。したがって、荷台の形状・材質あるいは昇降速度が遅いために、2 台の荷下時間は相対的に長くなっていると推察される。

表 7 は、基準車両に換算したダンプ台数を示している。上述の 2 台を除いて、全ダンプの平均荷下時間を求め、その値を当該荷受口における基準車両の平均荷下時間で除して得た値をダンプの基準車両換算台数とした。たとえば、第 2 荷受口にダンプが粉を張り込むと仮定すれば、基準車両に換算して約 0.212 台に相当する。なお、残りの 2 台については、ロットごとの荷下時間を当該荷受口における基準車両の平均荷下時間で除して得た値を基準車両換算台数とした。

表 7 基準車両換算後のダンプ台数

荷受口	基準車両 平均荷下 時間(秒)	ダンプの 平均荷下 時間(秒)	基準車両 換算台数 (トラック/ダンプ)
1	179	36	0.20112
2	170	36	0.21176
3	312	36	0.11538
4・5	235	36	0.15319
6・7	270	36	0.13333

出所) 図 4 に同じ。

3) 待ち時間関数の推定

これまでの整理を踏まえて、美瑛 RC における待ち時間関数を推定する。美瑛 RC では受付場所と荷受口が分離しており、受付時にランク検定が実施されている。ただし、現状の受付能力および利用農家数を前提とするならば、受付で混雑（待ち時間）が発生する可能性は極めて低い。そこで以下では、「待ち時間」を「移動時間」と「荷下準備時間」の合計とする。この定義では純粋な待ち時間とならないが、データの精度から純粋な待ち時間と移動時間・荷下準備時間を正確に分離することが困難なためである。しかし、課題への第 1 次接近としては、許容できる範囲にあると考える。なお、図 4 で確認したように、午前 11 時前まではロット数が少ない一方、午後 5 時以降では極端に多くなることから、午前 11 時から午後 5 時までの到着ロットを対象とする。

図 8 は、日別・荷受口別にみた平均待ち時間とロット数の関係を示している。縦軸は平均待ち時間(分)、横軸は荷受能力に対するロット数である。ロット数は、分析時間帯である午前 11 時から午後 5 時までの 6 時間に到着したロット数を基準車両換算係数で変換した値である。通常、荷受能力は 1 時間あたり荷受可能重量(t/h)で表されるが、ここでは平成 11 年度の平均生粉ロット重量(3,151 kg/ロット)を用いて、1 時間あたり荷受能力をロット数に換算し、さらに 6 倍（観測時間：6 時間）した値である。同図をみると、荷受能力に対するロット数の値が大きくなるにつれて、待ち時間が遡増する関係が確認できる。受付では待ち時間がなく、また同時に利用できる荷受口が 6 口あるが、ランクと品種によって荷受口が指定されるために、荷受口の混雑が避けられないためである。

図 8 に示したデータから、午後 3 時前後から雨が降り出した 9 月 19 日のサンプルと、粗選機の故障に

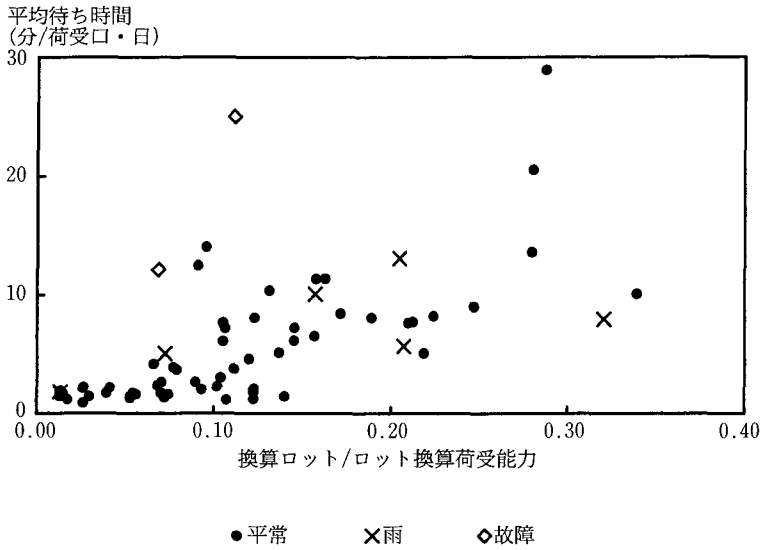


図8 日別・荷受口別にみたロット数と待ち時間
(全期間：68 荷受口・日¹⁾)

出所) 図4に同じ。

註1) 実調査12日間のうち4 荷受口・日(10 日の第4・5 荷受口, 21 日の第3 および第7 荷受口, 22 日の第7 荷受口)は荷受実績がなかった。

より荷受作業を一時中断した17 日の第6 および7 荷受口のサンプルを除外して, 非線形最小2 乗法により(1)式を推定した結果を表8 に示す(註16)。ただし, (1)式の変数 T が平均待ち時間, 変数 V がロット数, 変数 K がロット換算された荷受能力である。また, 計測上の待ち時間の定義から, 変数 T_0 を待ち時間がないときの「移動時間」と「荷下準備時間」の合計時間として推定した。さらに, 上述した手順でロット数を換算した「換算モデル」と, 換算ロット

を用いていない「非換算モデル」を設定した。 T_0 以外のパラメータについては, いずれも t -値は高い。ただし, $\beta=1$ を帰無仮説, $\beta>1$ を対立仮説として t -検定をおこなうと, 有意水準 20% で帰無仮説が棄却される。計測結果が混雑現象を捉えていると判断するためには, β の値が 1 よりも大きい必要があるが, 統計的検定の点では若干の問題を残す結果となっている。現状の到着ロット数に比べて, 技術的には荷受能力に余裕があり, 平均待ち時間が急激に増えるデータ領域が分析対象にあまり含まれていないためである(註17)。なお, 換算モデルと非換算モデルを比較すると, 換算モデルの AIC が相対的に小さく, 換算ロット数を用いることでモデルの適合度が向上しており, 基準車両換算係数の有効性が認められる。

表8 待ち時間関数の推定結果

パラメータ	換算モデル		非換算モデル	
	推定値	t -値	推定値	t -値
T_0	0.9916	0.776	0.3252	0.167
α	72.2728	2.332	74.3301	1.630
β	1.3304	3.730	1.1712	2.624
標本数 ¹⁾	60		60	
対数尤度	-159.8492		-165.9758	
AIC	5.428		5.633	

出所) 図4に同じ。

註1) 実調査期間中に荷受実績のあった68 荷受口・日から, 午後から雨が降り出した19 日の6 荷受口・日と粗選機の故障により通常以上に待ち時間が生じた2 荷受口・日(17 日の第6 および第7 荷受口)を除外している。

5 おわりに

従来, 共乾施設の待ち時間分析は, 待ち行列シミュレータを用いた方法が主流であった。この方法は, 技術的な観点から施設を評価するには有用である。しかし, 共乾施設を利用農家, 事業主体(運営費用・利用料金), および待ち時間から構成される共乾シス

テムとして経済的に分析するためには、待ち行列シミュレータでは効率的な分析が困難になる。この問題に対処するには、待ち時間と到着ロット数および荷受能力との関係を待ち時間関数として把握する方法が考えられる。そこで本稿では、北海道上川郡美瑛町に設置されている美瑛町農協ライス・センターを対象に、交通ネットワーク分析におけるリンク・パフォーマンス関数を援用して、共乾施設における待ち時間関数を設定・推定した。

分析の結果、荷受口に到着した車両台数は、車両形態、荷姿、および積載量の違いを踏まえて、荷下時間を基準に調整する必要があることが示された。本事例では、トラックの積載量(ロット重量)が3,500~5,000 kgを超えると、1,000 kg超過分が基準車両の0.90~3.83台に、ダンプは基準車両のトラック0.115~0.212台に相当することが明らかとなった。さらに、基準車両換算係数で到着ロット数を調整したデータを用いて待ち時間関数を計測したところ、一部のパラメータが安定性という点では若干の問題を残したが、全体としては共乾施設の混雑現象を待ち時間関数として捉えられることが示された。

なお、基準車両換算係数を求めるときのサンプルが一部で少なかったこと、本稿で求めた係数の汎用性という点では課題が残る。交通工学における乗用車換算係数は、道路条件や車両タイプごとに係数値が定められている。このようにさまざまな条件下での基準車両換算係数を求めるためには、さらなる事例研究と技術的な側面からの検討が必要である。

付 記

本稿を作成するにあたり、北海道大学大学院教授伊藤和彦先生(農産物加工工学)から貴重なご助言を頂いた。三宅昭一氏、中山嘉雄氏をはじめとした美瑛町農協職員およびライス・センターの作業員の方々には、資料提供や調査に関して格段の配慮を賜った。さらに、実測調査にあたっては、北海道大学大学院 杉村泰彦氏、小糸健太郎氏、品川誠氏、渡邊浩史氏の協力を得た。記して感謝申し上げる。

註

(註1) 全国農業協同組合連合会資料によれば、道県別に平均稼働率(平成8年度実績, カントリー・エレベ-

タのみ)を比較すると、稼働率80%を超えているのは全国で15県、逆に7県では60%を下回っている。

(註2) 農協へ委託した農家が存在する市町村のみを対象とした値である。

(註3) 美瑛町では畑作農家が小麦を作付けているため、乾燥機の所有農家数には畑作農家も含まれる可能性がある。しかし、基本的に小麦は美瑛RCで乾燥されるため、稲作農家のみが乾燥機を所有していると思っても差し支えないと考える。また、畑作農家が小麦の収穫作業に用いる普通型コンバインを共同所有しているため、自脱型コンバインのみを対象としている。

(註4) ホクレン資料によれば、平成8年度から平成10年度までに設置された13施設のうち、生粉を受け入れているのは6施設にすぎない。

(註5) 不定期ではあるが、小豆も乾燥している。

(註6) ただし、9月13日および17日の日中のみ調査員は2名である。

(註7) 当初、第2VCを第1VCから建設中のサイロ寄りの地点に設置して、第1および第2荷受口における車両の行動を撮影していた。しかし、その位置では車両の動きを観測するのが困難なケースが一部で見られたため、調査3日目より第1荷受口の横に設置した。

(註8) このほかにもリンク・コスト関数(Link Cost Function)やリンク・キャパシティー関数(Link Capacity Function)などとも呼ばれる。リンク・パフォーマンス関数については、Branston [2], 溝上 [6], Small [9]などを参照。また、本稿と類似した研究として、駐車場における待ち時間関数を推定した吉田・原田 [12]がある。

(註9) 午前8時頃から収穫作業をはじめするには、稲に付着している朝露を払い落とす必要がある。農家への聞き取り調査によれば、長いパイプを2名で持ちながら圃場内を歩いて露を落としたり、農業散布用のスプレイヤーを用いて風力で露を吹き飛ばすなどの作業が必要となる。

(註10) 午後6時台の割合が低くなっているが、受付終了時刻(午後6時)を多少過ぎて到着した農家も受け付けているためである。なお、遅くとも午後6時10分ごろまでには最後の車両が到着しており、また受付終了時刻を過ぎて到着する農家はわずかであることから、荷受時間帯に関するルールは比較的良く遵守されていると言えよう。

(註11) データの精度からも、午後5時以降に到着したロットを分析対象に含めることは問題がある。午後5時以降では、受付が終了した後でも移動せずに受付場所待っている車両があり、正確な受付時間を確定することが困難なためである。

(註12) 検査員によれば、夕方の混雑が激しい時間帯以外にすべての簡易乾燥機を同時に利用したことはほと

んどないという。

(註13) 粉の含有水分率も荷受伝票からロットごとに求められるが、その影響はほとんど見られなかったため、以下では省略する。なお、作業主任によれば、乾粉と生粉ほどの格差がなければ、荷下時間(ホッパーから粗選機への搬出時間)に影響を及ぼすことはないという。また、荷台の形状・材質および荷台の昇降速度については、データを取得できなかったため分析から除外する。

(註14) この係数は、交通工学における「乗用車換算係数 (Passenger Car Unit: PCU)」と同等である。乗用車換算係数とは、大型車などの乗用車以外の車両1台を乗用車交通量(台数)に換算するとき用いられる係数である。乗用車換算係数については、高田[10]および山形[11]を参照。

(註15) 各荷受口の臨界重量(基準車両)は、つぎのように求めた。①ロット重量500kg単位にサンプルをグループ化し、各グループの平均荷下時間を求める。②グループ間で平均荷下時間を比較し、平均荷下時間が大きく上昇するグループを見つける。③このグループよりも重量が小さいグループ全体を基準車両とし、基準グループとそれ以上のグループを区切る重量を臨界重量とする。

(註16) 推定にはLIMDEP Ver 7.0を用いた。

(註17) 到着ロット数が荷受能力の限界に近づくと、平均待ち時間は急激に増加する。たとえば、華ほか[3]の図6(pp.8)を参照。ただし、利用農家から評価して、現状の混雑現象が許容できる水準にあると判断することはできない。なぜならば、待ち時間に対する評価は、それにより利用農家に生じる損失に依存するからである。

引用文献

- [1] 合崎英男・永木正和(1998):「米乾燥調製施設の搬入調整と農家間の相互依存関係」『農業経済研究』第70巻第1号, pp.18-27.
- [2] Branston, D. (1976): "Link Capacity Functions: A Review," *Transportation Research*, Vol. 10, pp.223-236.
- [3] 華岩・小中俊雄・瀬能誠之(1993):「共乾施設の荷受工程に関する研究(第2報)」『農業施設』第24巻第2号, pp.3-10.
- [4] 朽木昭文(1978):「プラント・プールの経済理論」『農林業問題研究』第51号, pp.78-84.
- [5] 松井 寛(1998):「交通ネットワークフローの均衡問題」土木学会土木計画学研究委員会「交通ネットワーク」出版小委員会編『交通ネットワークの均衡分析』土木学会, pp.1-9.
- [6] 溝上章志(1998):「ネットワークの表現とリンクコスト関数」土木学会土木計画学研究委員会「交通ネットワーク」出版小委員会編『交通ネットワークの均衡分析』土木学会, pp.11-20.
- [7] 下村義人(1989):『集团的営農の計画と管理』明文書房.
- [8] 塩谷幸治・平泉光一(1998):「農家のカントリーエレベータの利用意向・実態に関する事例研究」『農業経営研究』第36巻第2号, pp.117-122.
- [9] Small, K. A. (1992): *Urban Transportation Economics*, Harwood Academic Publishers (金沢哲雄・三友仁志監訳(1999):『都市交通の経済分析』勁草書房).
- [10] 高田 弘(1971):『改訂増補 交通容量』(交通工学シリーズ10) 技術書院, pp.91-96.
- [11] 山形耕一(1993):「交通調査の方法と種類」森地茂・山形耕一編著『交通計画』(新体系土木工学60) 技報堂出版, pp.49-51.
- [12] 吉田 朗・原田 昇(1989):「混雑度を考慮した駐車利用均衡モデルの研究」『1989年度 第24回日本都市計画学会学術研究論文集』, pp.271-276.

[1] 合崎英男・永木正和(1998):「米乾燥調製施設の搬