

米出荷時に起こる待ち行列の研究

文教大学 98p21056 河野恵介

98p21056@shonan.bunkyo.ac.jp

1 章 はじめに

北海道深川市（写真 1 参照）は、お米の産地であり毎年 9 月の中旬から 10 月上旬までの約 25 日間米の出荷が行われる。農家の人は米を刈入れた後、その米を乾燥し農協へと出荷するのだが、その際地元の農家（全 145 世帯）のトラックがいっせいに集まるため農協には早朝 6 時頃から長蛇の待ち行列が起こる。米の出荷がピークの時期になると夕方 5 時ごろまで行列が絶えることは無い。待ち行列がやっと無くなったと思っても農協職員は米の処理が残っているため、終わるのが深夜の 12 時頃だ。それが毎日続き職員の顔にはもはや生気は感じられなかった。そこで私は農家や農協職員の疲労を少しでも減少するように何か無いかと考え、待ち行列が発生するのは出荷経路に原因があるのではないのかと思いその原因を解明することを考え、それによって少しでも出荷がスムーズに進行するようになればよいと思いこの課題に取り組むことにしました。



写真 1 深川市納内町全景

2 章 問題点

米出荷時に起こる待ち行列の研究をするにあたって、現在の出荷のどの工程が 1 番ボトルネックになっていて待ち行列減少の余地があるのだろうかというのが問題になる。単純に考えればボトルネックになっている部分は農家に米の出荷において時間や量の制限がされていないという点である、それならば制限させるのが 1 番最適なのではという考えが浮かぶのだが、制限させるにも最適な制限を考えなければ意味が無い。それで今回、農家の米の出荷工程で減少の余地があるのはどの工程なのか、さらにその工程での有効な制限方法を提案し、そしてその提案に基づき実験をし、その実験結果と現状を比較したいと思う。

3 章 現状

現在の米の出荷は対象農家全 145 世帯で、農家は米を刈入れ乾燥してから農協に出荷する。農協に持ってきてからは出荷経路としてまず米の痛み具合やランクを決めるため検査をする。検査が終わると次に重量を測り受け口（2 つ）へ米を流す。流された米はいったん貯蔵タンクへ移され、コンテナへ入れるために一時製品タンクへ移されそしてコンテナへ移し製品として倉庫に保管さるという流れになっている（図 1 参照）。

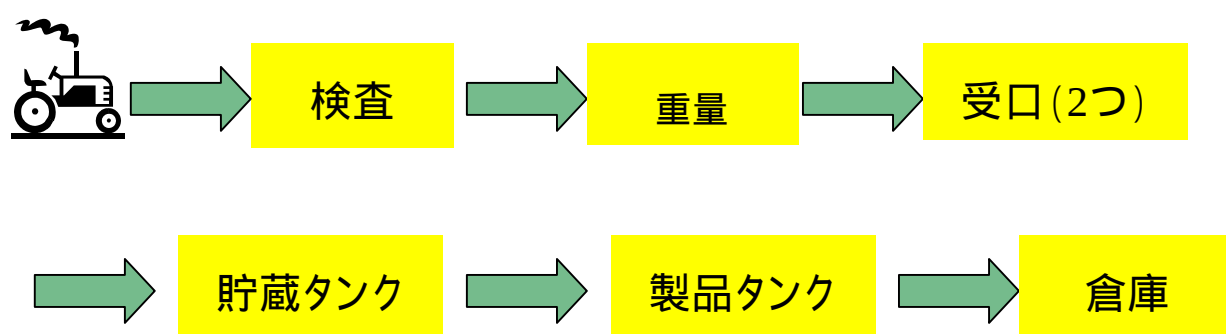


図 1 出荷経路

米は 1 年間（米の出荷時期は約 25 日である。）で約 5 万俵（3000 トン）の出荷がある。処理施設の処理能力は 1 日稼働時間が約 8 時間で 1 時間に約 15000 kg（15 トン）・1 日に約 120000 kg（120 トン）である。しかしピーク時は 1 日約 192000 kg（192 トン）を処理し 1 日の稼働時間は約 13 時間もの時間になる（表 1 参照）。

表 1 処理能力

	処理能力
1 時間	15000 kg
1 日（ 8 時間）	120000kg
1 年間（ 25 日）	3000000kg

現在の処理方法では農家のトラックはいったいどのくらいの待ち台数が発生しているかを待ち行列理論を用いて 1500 回シミュレーションしたところピーク時に 70 台の出荷があり平均最大系内数は 23.7 台、平均平均系内数は 10.38088 台の待ち行列が発生しているという結果が出た（写真 2 参照）。（実験方法の詳細は次章にて説明）



写真2 出荷時の待ち行列風景

4章 実験方法（待ち行列理論）

今回、トラックの待ち台数の現状を調べるにあたって待ち行列理論を使用した。

4-1 待ち行列理論

今回はお米を出荷する際に起こる待ち行列をシミュレーションする。待ち行列とは、あるサービスを行うときに起こる行列のことで、日常よく見かける待ち行列の例としては、通勤時間帯の駅の改札口や月末の銀行の窓口、空港やコンビニのカウンター、人を待つタクシーの列、デパートのエレベーターなどがある。待ち行列のモデルの例として下図に示してみた。

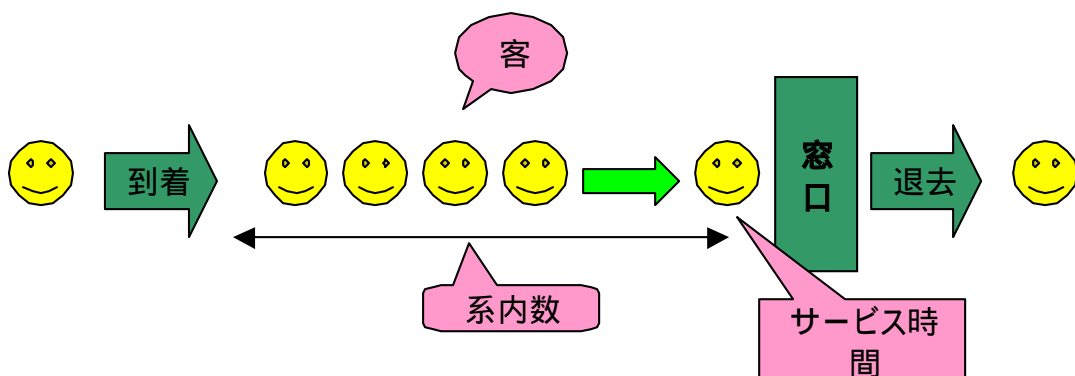


図2 待ち行列モデル

待ち行列の流れと言葉の定義として待ち行列モデル（図2 参照）を利用して説明する。まずサービスを受ける人を客とする。その客が窓口へくることを到着するという。到着し

た客はサービスを受けるのだがサービスを受ける場所を窓口といいそこでの処理時間をサービス時間とし、待っている客と窓口でサービスを受けている客全体の間の数を系内数という。そしてサービスを受け終わった客は退去する。上図の待ち行列モデル全体のことを待ち行列系と呼ぶ。

なぜ待ち行列が発生するのだろうか。サービス供給能力が無限なら待ち行列は発生しないし、需給のばらつきが無く一定でも当然待ち行列は発生しない。しかし現実問題ではサービス供給能力は有限で限界があり、客の到着やサービス時間にはばらつきがある。そのため待ち行列が発生するといえる。

次に待ち行列のシミュレーションについて考えてみる。シミュレーション方法には、離散的な再現方法と連続的な再現方法があり、どちらの方法も λ と μ を使用する。 λ とは平均到着率のことで単位時間内に到着する客数を表し、 μ とは平均サービス時間のことで単位時間内にサービスを受ける客数を表している。 λ や μ を導く方法は現実的な待ち行列を観察することによりわかり、まず平均到着間隔 ($1/\lambda$) と平均サービス時間 ($1/\mu$) をもとめそのデータをもとに λ と μ を導く。なお平均到着間隔とは前の客が到着してから、次の客が到着するまでの時間の平均で、平均サービス時間とは窓口において、サービスされる時間の平均を言う。

離散的な再現方法と連続的な再現方法についてそれぞれの特徴は、離散的なシミュレーションは到着間隔やサービス時間が0分、1分、...のようにとりえる値が整数値として固定されている。そのためシミュレーションをしても現実的ではない。それに対し連続的なシミュレーションはある区間内でとり得る値が任意の実数値で与えられ、数値に切れ目がなく“でたらめ”な到着を再現することができる。なおここでの“でたらめ”の定義は無記憶性（前の客と次の客との関連なし）・定常性（平均に客の到着・サービスは同じ）・希少性（同時に二人以上の客の到着・サービスは希）であることをいう。でたらめな到着を観察すると経験的に客の到着間隔が指数分布に従うことがわかり、サービス時間に関しても他の客に依存しない場合はでたらめな到着間隔と同様、指数分布に従うことが経験的にわかっている。

指数分布に従う乱数の生成方法は〔0,1〕区間の一様乱数に対して $w = -\frac{1}{\lambda} \log_e(1-u)$ で生成でき、 w は平均到着率が λ の指数分布に従う乱数になる。サービス時間に関しても同様である。

4-2 実験

今回の実験は連続的な再現方法で行う。 λ と μ は前章の現状データより、平均到着率(λ)
= 7 (人/時間) で、平均到着間隔 ($1/\lambda$) = 0.142 (時間) = 8.5 (分) となり、サービス
時間も同様に計算すると $\mu=5$ (人/時間) 、 $1/\mu=0.2$ (時間) = 1.2 (分) となった。(表2)
これらのデータをもとに指数分布に従う乱数を発生させ“でたらめ”な到着・サービスを
シミュレーションし平均最大系内数、平均平均系内数を調べた。[エクセル](#)

表2 現状データ

	平均到着率 λ (人/時間)	平均到着間隔 $1/\lambda$ (時間)	平均サービス率 μ (人/時間)	平均サービス時 間 $1/\mu$ (時間)
現状データ	7	0.142	5	0.2

5章 提案

この章では 2 章でのボトルネックになっている部分というのを考え、待ち行列が起こる
原因の提案を立てていき、それをもとに次章で検証していきたい。

提案

なぜ現在の処理方法では長蛇の待ち行列が発生するのだろうか。現在処理施設には受け
口が 2 つあり、農家は量に関係なく到着した順に米の処理を行う。当然量の多い農家は受
口においてかかる時間は長く、その間に多くの待ち行列が発生すると考えた。(図3)

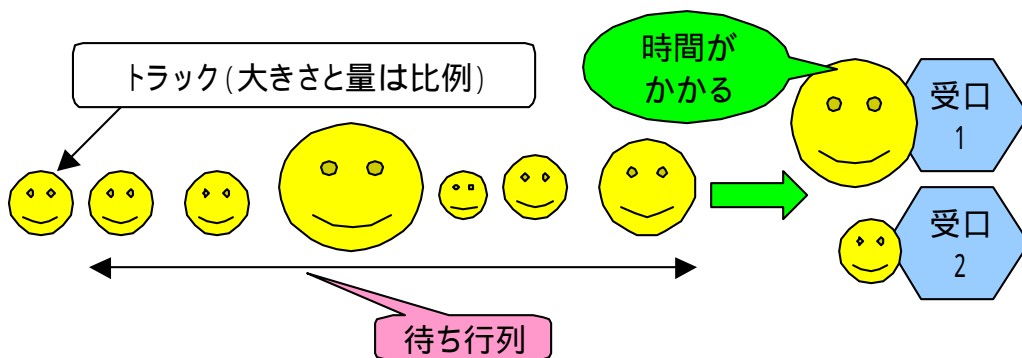


図3 現状

そこで待ち行列が起こる原因として米の量が多いトラックがネックになっているのではないかと思います、米の量が多いトラックと少ないトラックを分けてそれぞれ受口 1、受口 2 で処理すると待ち行列が減少するという提案を考えた。この提案を分量二分法と呼ぶことにする。(図 4)

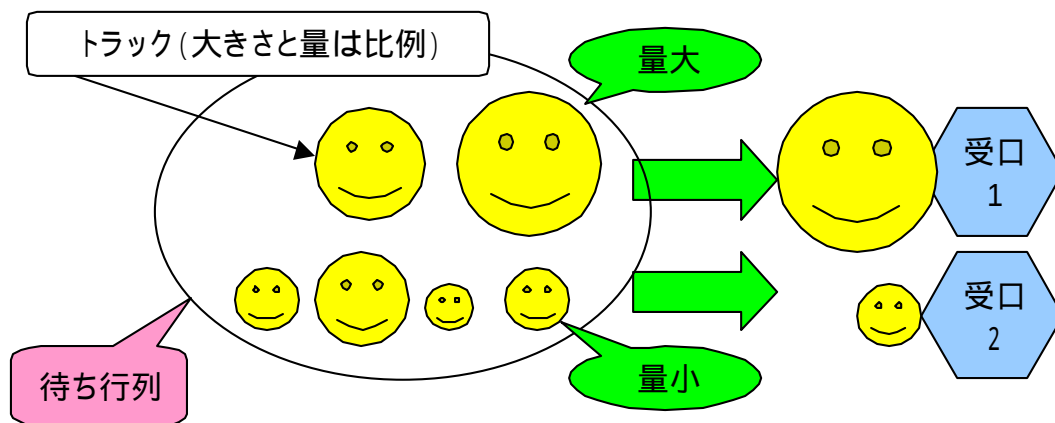


図 4 分量二分法

6章 検証

前章では待ち行列が発生する原因の仮説を立てたのだが、はたしてその仮説が原因となっているのだろうかということを検証するにあたって、待ち行列理論を使用したいと思う。ピーク時の一日の出荷台数、全出荷量、処理施設稼働時間から平均到着率（単位時間内の到着数、 λ ）、平均サービス率（単位時間内のサービス数、 μ ）を求め、これをもとに到着時間とサービス時間の値を出す。ちなみに到着時間とサービス時間は乱数を発生させて導き出している。ここでのサービス時間とは出荷する米を受け口に流し込んでいる時間である。

6 - 1 分量二分法の検証

前章で米の量が多いトラックと少ないトラックに分けるとあったが検証では 3000 以上、以下で分けてみたところ 3000 以上のトラックが 25 台、3000 以下のトラックが 45 台だった。待ち行列理論を使用して 1500 回以上シミュレーションした結果以下のようなデータが得られた。シミュレーションは 4 章の実験方法と同じでデータは以下の表より行った。(表

3 参照)

表 3 実験データ

	平均到着間隔 $1/\lambda$ (時間)	平均到着率 λ (人/時間)	平均サービス間隔 $1/\mu$ (時間)	平均サービス率 μ (人/時間)
出荷量 3000 以下 (受口 1)	0.22	4.5	0.26	3.75
出荷量 3000 以上 (受口 2)	0.4	2.5	0.533	1.875

表 4 現状でのシミュレーション結果

現状(受口 1・2)

最大系内数合計	80637	平均系内数合計	17439.88
実験回数	3392	実験回数	1680
平均最大系内数	23.7727	平均平均系内数	10.38088

表 5 分量二分法でのシミュレーション結果

出荷量 3000 以下 (受口 1)

実験回数	2629	平均系内数合計	8280.4
最大系内数合計	32509	実験回数	1671
平均最大系内数	12.36554	平均平均系内数	4.955356

出荷量 3000 以上 (受口 2)

実験回数	3570	平均系内数合計	6908.674
最大系内数合計	35783	実験回数	1664
平均最大系内数	10.02325	平均平均系内数	4.151847

このデータより現状は、平均最大系内数 23.7727 (台)・平均平均系内数 10.38088 (台) に対し分量二分法では、平均最大系内数 $12.36554 + 10.02325 = 22.38879$ (台)・平均平均系内数 $4.955356 + 4.151847 = 9.107203$ という結果が得られた。(表 5)

7章 結果

分量二分法の結果

前章で行った実験結果をみると現状では平均最大最大系内数 23.7727 (台)・平均平均系内数 10.38088 (台) 仮説 1 の受口をそれぞれ 3000 kg 以下・3000kg 以上に分けた方法では、平均最大系内数 $12.36554 + 10.02325 = 22.38879$ (台)・平均平均系内数 $4.955356 + 4.151847 = 9.107203$ という結果が得られ最大系内数が 1.4 台・平均系内数が 1.2 台でともに約 1 台少なくなるという結果がとなった。

8章 まとめ

6章で現在待ち行列が起こる原因は米を流す受口にあると仮説をたてそれを待ち行列理論を使用しシミュレーションした結果、最大系内数・平均系内数がともに約 1 台減少するということがわかった。この結果に関して、減少が約 1 台というのは少ないのではないかと思うのだが、全体で考えてみると最大系内数は現状より約 5.8%の減、平均系内数にいたっては約 1 割も減少した。6章のような簡単な提案でもこれだけの成果があるということは、やはり米出荷時に起こる待ち行列は米の受口ではまだまだ減少の余地があるということがこの研究で証明された。

9章 おわりに

今回の研究では米出荷時に起こる待ち行列の減少の研究をしたが、今後この研究を続けていきさらに良い待ち行列減少の提案ができるように努めていきたいと思います。あと今回の研究で私自身待ち行列の難しさを知ることができ、そして待ち行列について少しでも詳しくなれたことに喜びを感じています。

謝辞

今回の卒業論文を作成する際に根本先生には大変お世話になりました。どうもありがとうございました。JA きたそらち納内支所の皆様、お忙しい中、資料の提供や取材などをさせていただきどうもありがとうございました。ゼミ生の皆さんいろいろなアドバイスありがとうございました。

参考文献

根本俊男、レジューム(queueing theory 待ち行列をシミュレーションする・待ち行列を解析する)、2000 (<http://www.bunkyo.ac.jp/nemoto/lecture/>)
雨宮幸雄、待ち行列必勝作戦、1995、オーム社雑誌局

参考資料

JA きたそらち納内支所、米資料、1999