

京都大学工学部 正員 吉川 和広

京都大学工学部 正員 山本 幸司

京都大学大学院 助員 水野 温夫

1. はじめに 近年世界的に穀物が不足し、またその需給地の地域的偏在のため、穀物を生産国から消費国まで確實、低廉かつ迅速に輸送するための国際輸送システムの形成が極めて重要となってきた。この問題を解決するためには、国際輸送システムに対して総合的な分析を行なう必要がある。しかし、これを1つのシステムとしてモデル化することは分析上困難であるため、その一環として穀物供給国の港頭地区にのみ着目し、穀物荷役の動態分析を試みたものである。なお事例としては、ブラジル、アルゼンチン兩國からわが国向けのメイズ（とうもろこし）およびソルガム（こうりゃん）の輸送現象をとりあげた。

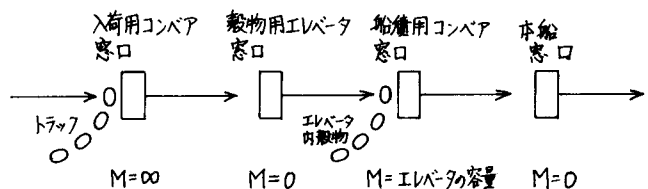
2. 穀物荷役現象のモデル化および分析方法 港頭地区における穀物の流動現象を示したのが図-1である。生産地で集荷あるいは中間サイロで貯蔵されていた穀物はトラックや鉄道ワゴンによりバラ積み状態で港頭地区へ運ばれてくる。そして港頭にある穀物用エレベータが空いておれば入荷用コンベアによりエレベータ内部へ搬入・保管される。そして本船への船積が可能であれば船積用コンベアにより積込される。

このような現象は図-2に示すように、穀物を客とし、入荷用コンベア、穀物用エレベータ、船積用コンベアおよび本船を窓口とするタンデム型の待ち行列系と考えることができる。明らかに、これらの窓口でサービスを受けられない場合、穀物は待ち行列を作ることになる。まず、穀物用エレベータが満杯の場合には穀物を満載したトラックは入荷用コンベア窓口で待ち行列をつくるが、この場合はその待ち行列長に制限はない。これに対し入荷用コンベアおよび船積用コンベアは穀物を連続的に移動させる施設でありそれ自体では穀物を滞留することができないため、両コンベアに続く穀物用エレベータ窓口および本船窓口の前では待ち行列が許されない。また船積用コンベア窓口の最大許容待ち行列長はエレベータの容量に等しいと考えられる。したがって、これらの窓口ではブロッキングの生じる可能性が非常に高くなる。一方、別の見方をすれば、本船を船積用コンベアから積込サービスを受ける客と考えることもできる。この場合には図-1のような穀物荷役現象は、トラックと本船を客とし、入荷用コンベア、穀物用エレベータ、船積用コンベアを窓口とする2重待ち合わせ系として捉えることができる。以上の考察により、港頭

図-1 港頭地区における穀物荷役現象



図-2 タンデム型待ち行列系へのモデル化

ここに M ; 最大許容待ち行列長

3. シミュレーションの実施

モンテカルロシミュレーションに

よって港頭地区における穀物荷役現象を分析していくに際しては次のような仮定をおいた。

- ① アルゼンチンの主要輸出港の穀物用エレベータの年間回転数が7~11回であることから、容量10~12万トンのエレベータの年間取扱量を100万トンとみる。
- ② これを25トン積トラックで輸送するためには、港頭地区へ1日平均110台のトラックが到着しなければならぬ。このように平均到着台数が多いことから、到着分布はポアソン分布ではなく正規分布(平均110台、変動係数0.1)に従うと仮定した。
- ③ 入荷用コンベアおよび船積用コンベアの荷役能力をそれぞれ3000~7000トン/日、4000~9000トン/日とし、その日々の能力は正規分布(変動係数0.1)で変動するものと仮定した。
- ④ 穀物を長期間エレベータ内に保管する場合、腐敗等により数量が欠減するが、入庫後40日でも数%以下であるため、シミュレーションではこれを無視する。
- ⑤ 穀物輸送船に関しては、19,000D/W, 25,000D/W, 60,000D/W および 100,000D/W の4クラスを考える。一般に本船の入港分布はポアソン分布の低次のアーラン分布に従うことが知られているが、ここでは到着間隔に注目し、全くランダムなポアソン分布の場合、定期配船計画を考慮した一定間隔の場合、およびその中間として正規分布に従う場合を考える。なお、正規分布の場合はその変動係数を0.1にとった。

以上のような仮定のもとに、シミュレーションにおけるインプットデータとして次のようなものを考えた。

λ_k : 第k日における穀物到着量(トン/日), μ_k : 第k日における入荷用コンベアの荷役速度(トン/日), C : 穀物用エレベータの容量(トン), μ_k : 第k日における船積用コンベアの荷役速度(トン/日), τ_j : 第j番目に到着する本船の入港日(日), W_j : 第j番目に到着する本船の積荷可能量(トン)。

またアウトプットデータとしては、荷役システムが2重待ち合わせの性質を持つことも考慮し、特にトラックの待ち行列長および本船のけい岸待ち日数に注目し、次のものを求めることにする。

Σ_k : 第k日にエレベータへの搬入待ちをしている穀物の総滞貨量(トン), S_k : 第k日における穀物用エレベータの在庫量(トン), WD_j : 第j番目に到着した本船のけい岸待ち日数(日), D_j : 第j番目に到着した本船の荷役所要日数

さて、time sequencing法によって予備的なシミュレーションを実施したところ次のことがわかった。

- ① シミュレーション期間を29000日という長期に設定しても、本船がポアソン到着する場合には容易に定常状態に達せず、トラックが非現実的な長蛇の待ち行列を作ったり、場合によっては本船が何百日も荷役待ち状態に陥るという結果が得られた。
- ② 穀物荷役施設の能力変化による影響は本船到着の変動がおよぼす影響に比較すると小さなものである。
- ③ 本船の到着間隔が一定であっても、到着した本船の容量がばらばら(シミュレーションでは各トン級に付して変動係数0.1の正規分布を仮定した)場合、シミュレーション結果が大きく変動した。

このうち①の理由としては、穀物荷役システムが、「2重待ち合わせの性質を持つタンデム型の待ち合わせ系」であること、さらに、トラックの容量(25トン)に比して本船の容量(1万トン~10万トン)が極端に大きいことから、本船到着のランダムネスがシステム全体に大きな影響をおよぼすためであろうと考えられる。また②および③より荷役施設の規模決定に際しては本船の配船計画が大きく影響することが明らかとなった。

4. おわりに 今後は、本船の到着間隔を正規分布および一定分布に限定し、荷役施設(穀物用エレベータおよび両コンベア)の能力をパラメトリックに変化させた場合、およびトラックの到着状態を変化させた場合等についてシミュレーションを実施する。そして、これらのシミュレーション結果をもとに、実際現象に即した分析(輸出期が3~8月に限られていること、トラックが長蛇の列を作る場合は港頭地区に中間サイロを設置すること、経済的な評価を加えること)を行なう必要がある。これらについては講義時に発表する予定である。