

農産物の海上輸送環境構築に向けた検討 —海上輸送試験を中心として—

西家 健宏¹・望月 洋平²・池ヶ谷 篤³

¹正会員 修士（工学） 国土交通省 中部地方整備局 港湾空港部（〒460-8517 愛知県名古屋市中区丸の内二丁目 1-36）

E-mail: saika-t852@mlit.go.jp

²非会員 JA 静岡経済連（〒422-8620 静岡県静岡市駿河区曲金 3 丁目 8-1）

E-mail: y-mochiduki@kei.ja-shizuoka.or.jp

³非会員 博士（食品栄養科学） 静岡県立農林環境専門職大学短期大学部（〒438-8577 静岡県磐田市富丘 678-1）

E-mail:ikegaya.atsushi@squa.ac.jp

農産物の輸出促進に向けて、廉価な海上輸送の利用拡大が期待される。海上輸送による農産物輸出を進める上で、輸送時の品質維持や輸送工程の最適化が課題である。本稿では、清水港背後圏の農産物をシンガポール港へ海上輸送する試験を行った。結果、98 品目のうち 84 品目で十分な品質を確保できた。一部、ナス、オクラ及びキュウリは低温障害、レタス等の葉物野菜やシャインマスカット等の薄皮果実は乾燥による品質低下の防止措置を要した。また、海上運賃は航空運賃の約四分の一となり、イチゴなどの現地で評価の高い農産品の収益を増大できることも確認できた。最後に、国内の輸送工程を見直し、通関とバンニングの機能を市場に集約すること、海上輸送網を活かして広域的に集荷し、清水港に輸出拠点形成することを提案した。

Key Words: *exports of fresh agricultural products, marine container, reefer container, cold chain*

1. はじめに

日本の農産物は、品質と安全性から海外で高い評価を受けており、輸出拡大のポテンシャルは高い¹⁾。農産物のうち、長期の鮮度の維持が難しい品目は空輸されているが、現地では輸送コストが反映された割高な価格設定となる。近年、海上輸送に高機能冷凍・冷蔵コンテナが導入され、これまで鮮度の維持が難しかった「いちご」などの海上輸送ができるようになりつつある²⁾。著者らは、海上輸送に耐えられる品目が増えれば農産物の輸出促進に大きく寄与すると考える。

農産物の海上輸送の普及に向け、次の 2 つの課題が挙げられる。

1 点目は輸送時における鮮度の維持である。航空輸送に比べて輸送時間が長い海上輸送であっても十分な鮮度を維持できることを示す必要がある。国内の農産物は季節毎に生産品目が異なるため、それぞれの品目について鮮度維持の状況を確認する必要がある。また、

複数品目を混載して輸送することが想定され、貯蔵温度帯の違いやりんご等から発生するエチレングスの他品目への影響を防げるのかといった混載の可能性についても検証が必要である。

2 点目は輸送工程の最適化による、輸送日数の短縮である。コンテナ貨物の輸出では、集荷、通関の手続き、コンテナへの詰め込み作業（バンニング）、船舶への積み込みといった輸送工程を経る。また、農産物の輸出では、これらの工程に一貫した低温管理（コールドチェーン）が求められる³⁾。コールドチェーンを維持しつつも、輸送日数の削減を検討する必要がある⁴⁾。

本稿では、清水港からシンガポール港への農産物の海上輸送試験をもとに、海上輸送における農産物の品質の確認と輸送工程の最適化に向けた検討を行う。まず、第 2 章では、海上輸送試験の概要と、品質の評価方法を述べる。第 3 章では、合計 4 回の輸送試験の結果を整理する。また、輸送コンテナの違いが品質に与える影響や、鮮度保持フィルムによる梱包の有効性も

評価する。第 4 章では、航空輸送と比較した海上輸送のコスト削減効果を試算する。また、輸送日数の削減に向けた輸送工程の見直しも行う。最後に、得られた知見と残された課題を整理する。

2. 海上輸送試験の概要

(1) モデル地域の選定

農産物の海上輸送試験の実施にあたり、清水港及びその背後の 3 県（静岡県、山梨県、長野県）からなる地域をモデル地域として選定した（図-1）。

3 県は、清水港の背後に位置し、いずれも農産物の生産が盛んな地域である。2021 年には中部横断自動車道の全線開通が予定されており、産地と清水港の時間距離が大幅に短縮されることとなる。

清水港には、我が国の農産物の主要な輸出先国である台湾、香港、米国及びシンガポールとの定期航路が就航している。このほか、モデル地域が今後の農産物輸出のターゲットとしているタイ、マレーシア及びベトナムとの定期航路も就航している。

このように、農産物の輸出拡大に向けた物流面での適性を有する当該地域をモデル地域とし、既存の販路を有するシンガポール港へ農産物を海上輸送した。

(2) 輸送経路

輸送試験の輸送経路を図-2、各施設の位置関係を図-3 に示す。輸送試験に用いる農産物は、モデル地域及びその周辺の農産物が集まる静岡市中央卸売市場において選定した。貨物を輸出する際は通関の手続きを要し、手続きは関税法に基づく保税地域内で実施される。市場で選定した農産物を保税地域にある民間の冷凍・冷蔵倉庫（保税倉庫）に運搬し、通関とバンニング作業を行った。その後、コンテナは清水港のコンテナターミナルへ運搬され、船積したのちシンガポール港へと海上輸送した。

輸送経路は、市場や税関の営業日や定期航路の出港日を勘案しつつ、最短の輸送日数となるよう設定した。市場における品目選定からシンガポール港での船卸しまでにかかる輸送時間は、国内の工程に 5 日、海上輸送に 12 日の計 17 日であった。国内の流通であれば、市場で競り落とされた農産物は長くとも 2 日程度で小売店の店頭と並ぶ。農産物の海上輸送を普及させるためには、品質維持の状況を詳細に評価する必要がある。

(3) 試験回数と輸送品目

季節毎の各品目について、網羅的に鮮度の維持状況を確認するため、令和元年 8 月から翌年 2 月にかけて



図-1 モデル地域の位置図

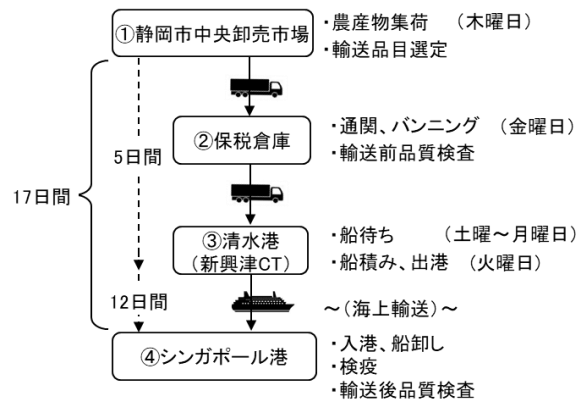


図-2 輸送試験の輸送経路



図-3 各施設の位置関係

概ね 2 ヶ月毎に 1 回、計 4 回の輸送試験を実施した。輸送品目は、試験実施時に流通しているものの中から、シンガポールでの需要や生産者の意向に基づき選定し、4 回の試験で野菜 62 品目、果実 36 品目を輸送した。

(4) 試験条件

a) 使用するコンテナ

コンテナの種類による農産物への影響を比較するた

め、試験では、「一般的な冷凍・冷蔵コンテナ (Refrigerated Container または Reefer Container, ここではリーファーと称す)」⁵⁾、「FUTECC (Future Technology Cold-Chain container, ここでは FUTECC コンテナと称す)」⁶⁾、「CA コンテナ (Controlled Atmosphere Refrigerated Container, ここでは CA コンテナと称す)」⁷⁾の 3 種類の冷凍・冷蔵コンテナを用い、使用するコンテナの違いが輸送品質に与える影響も分析した。3 つのコンテナの性能の違いは以下のとおり。

リーファーは、冷却装置によりコンテナ内の温度調節を行うことが可能なコンテナである。設定温度に対して最大で $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度の温度ムラが生じることがあるため、農産物が冷凍する寸前の 0°C 付近の低温管理が難しい。

FUTECC コンテナは、高性能な冷却装置により、リーファーコンテナに比べ高い精度 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) で温度管理できるコンテナである。 0°C 付近の低温管理ができるため、農産物の呼吸を抑え長期の鮮度維持が期待できる。

CA コンテナは、リーファーコンテナ内に窒素ガスを充填し低酸素のガス組成を生成することで、農産物の呼吸を抑え長期の鮮度維持が期待できる。

コンテナの種類による農産物への影響を比較するため、第 2 回試験で FUTECC コンテナとリーファーコンテナを比較した。第 3 回試験で FUTECC コンテナと CA コンテナを比較した。

b) MA (Modified Atmosphere) フィルムによる包装

農産物の鮮度は、温度のほかにガス組成 (酸素と二酸化炭素の比率) と湿度の影響を受ける。このため、コンテナの温度管理機能に加えて、ガス組成の管理と低湿度への対策を要する。

MA フィルムには、フィルム包装内を最適な酸素と二酸化炭素濃度に調整するとともに、湿度を保持する機能がある。MA フィルム包装の有効性や効果的な使用方法を検証するため、第 1 回試験では、MA フィルムで包装した出荷箱と、包装しない出荷箱との農産物への影響を比較した。出荷箱ごとのフィルム包装は手間がかかることから、第 4 回試験では、複数の出荷箱をまとめて収納できる窓付きの強化段ボールケースを用意し、その窓部分に MA フィルムを貼り付けた「鮮度保持ボックス」を試作した (写真-1)。鮮度保持ボックスに収納した農産物と、包装しない農産物の鮮度を比較した。

(5) 鮮度維持業況の評価指標

輸送後、農産物の各個体の鮮度維持状況を、以下示す 5 段階で評価した。品目毎の商品価値を示す値として、評価点を平均した「品質スコア」を算出した。ま



写真-1 一度に複数の出荷箱を収納できる、MA フィルム付きの鮮度保持ボックス

た、程度の差はあるものの商品として販売可能な割合を示す値として、品目毎に評価 2 以上の個体数の割合を算出した「可販率」も算出した。次章では、「品質スコア」と「可販率」の 2 つの指標に基づき試験結果を整理・考察する。

- 5: 集荷時と同等の品質
- 4: 集荷時には劣るが良好な品質
- 3: 品質は劣るが販売可能な品質
- 2: 集荷時よりも大幅に品質が劣る
- 1: 販売は不可能

なお、輸送前後に重量、糖度・酸度、果実硬度、色彩を測定し、輸送中は温湿度及び衝撃も計測している。

3. 試験結果

(1) 試験結果の概要

全 4 回の試験の試験条件と代表品目の品質スコア及び可販率を表-3 に示す。輸送した野菜 62 品目、果実 36 品目のうち、モデル地域の主力品目や、著しく品質が劣化した品目等の着目すべき品目野菜 12 品目、果実 10 品目を抽出して表示している。表-3 の最下段には、各回試験で輸送した全品目の平均品質スコアと平均可販率を示している。

ここでは、代表品目を「葉物野菜」、「多水分野菜」、「薄皮果実類」、「特筆果実」、「その他」に分類し、それぞれの鮮度維持状況や品質の向上策について整理する。

a) 葉物野菜、薄皮果実類

葉物野菜は、第 1 回、第 3 回、第 4 回の試験から、FUTECC、CA コンテナで鮮度を確保できている。

「キャベツ」は、3回とも品質スコアが4以上と鮮度維持が確認できた。

「レタス」は第1回の品質スコアが2であったが、他の2回では鮮度に問題はなかった。また、MAフィルム、CAコンテナ、鮮度保持ボックスを使用することで鮮度は確保できている。

「白菜」は、第3回の品質スコアが3.5となったが、他の2回では鮮度に問題はなかった。

「葉物野菜」では、MAフィルム包装の有無によって、品質スコアにして最大2.5程度の輸送品質向上効果を発揮することが分かった。MAフィルム無しでは、「レタス」、「白菜」と「キャベツ」に最大8.2%の乾燥による重量減少が生じ、特に「レタス」では販売の際に外葉除去を要する低スコア（品質スコア2）となった。一方、MAフィルム包装有りでは、重量減少が大幅に抑制され、販売に適する良好な品質（品質スコア4.5）であった（写真-2）。

MAフィルム包装の有無による重量減少の差異は「シャインマスカット」等の薄皮果実類でも同様の傾向が見られた。このように、葉物野菜や薄皮果実類といった重量減少を生じやすい品目の輸送においては、MAフィルム等による乾燥対策が必要である。

b) 多水分野菜

「ナス」、「オクラ」、「キュウリ」は、いずれのコンテナでも品質スコアは3以下と鮮度が確保できなかった。また、MAフィルム、鮮度保持ボックスも有効ではなかった。



写真-2 MA包装の重量減少抑制効果（レタス）



写真-3 低温障害の症状が見られるナス（第4回試験）

これら3品目には、低温障害と思われる変色や変質といった著しい品質の劣化が見られた（写真-2）。これら3品目の最適貯蔵温度帯は7~12℃であり、試験で設定した0℃には適さなかったと言える。温度への感度が高い品目を輸送する際は、保温梱包を施したり最適貯蔵温度帯の近い品目同士を選定する等の工夫が必要である。

c) 特筆果実

「いちご」は、FUTECC、CAコンテナともに、鮮度を確保できている。

「プラム」は FUTECC で品質スコア 4 と鮮度を確保

表-3 農産物の品質スコアと評価結果

回次		第1回		第2回		第3回		第4回		
実施時期		8月1日(木)~21(木)		10月10日(木)~31日(木)		12月19日(木)~1月8日(水)		2月6日(木)~26日(水)		
輸送品目数	野菜	21		15		38		35		
	果実	7		13		7		15		
使用機材		futecc (0℃)	futecc (0℃) + MAフィルム包装	futecc (0℃)	リーファーコンテナ (5℃)	futecc (0℃)	CAコンテナ (0℃)	futecc (0℃)	futecc (0℃) + 鮮度保持ボックス	
検証項目		MA包装の効果検証		futeccとリーファーコンテナの比較		futeccとCAコンテナの比較		鮮度保持ボックスの効果検証		
野菜	葉物	レタス	2(100)	4.5(100)			4(100)	4.5(100)	4(100)	4(100)
		白菜	4(100)	5(100)			3.5(100)	4(100)	4(100)	4(100)
		キャベツ	4(100)	5(100)			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		小松菜	4(100)	5(100)	4.5(100)	3.5(100)	4.5(100)	4.5(100)		
		大葉	3(100)	3.5(100)	3(85)	3(45)				
	多水分野菜	ナス	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(5)	2(30)
		オクラ	1(0)	1(0)						
		キュウリ	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	3(77)	3(87)	2(78)	2(80)
		甘藷☆	5(100)	5(100)	5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		馬鈴薯☆			5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
その他	しいたけ			5(100)	5(70)	3.5(95)	3.5(75)	3.5(100)	3.5(100)	
	ぶなしめじ			4(100)	3.5(100)	4.5(100)	4.5(100)			
	シャインマスカット	4(100)	5(100)	4(100)	4(78)					
果実	薄皮果実類	巨峰	4(100)	5(100)	5(100)	5(100)				
		桃	4(100)	5(100)						
		いちご☆					4.5(100)	4.5(100)	4.5(100)	4.5(99)
	特筆果実	プラム	4(96)	5(100)						
		いちじく			3(60)	2(25)				
	その他	みかん					5(97)	5(97)		
		りんご☆			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)		
		柿			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)	2(100)	3.5(100)
		メロン	4(100)	5(100)	4(100)	4(100)	4.5(100)	5(100)	3(100)	3.5(100)
		試験条件毎の平均値	3.7(85.6)	4.1(85.7)	4.2(87.3)	4.0(82.9)	4.2(95.4)	4.4(91.5)	4.2(95.8)	3.9(97.3)

☆:複数品種の平均値

※括弧内の数字は可販率を示す。

できており、また MA フィルムを用いることで品質スコアが 5 と、鮮度維持効果が高まることが分かった。

農産物の海外輸出について、「いちご」の 99%以上、「プラム」の 90%以上が航空輸送されている（2019 年貿易統計）。本試験によって、両品目とも 17 日程度であれば十分に海上輸送は可能であることが示された。

「いちじく」は、FUTECC、リーファーでの輸送では鮮度を確保できていない。FUTECC を用いた場合は重量減少による収縮が発生し、リーファーでは高温によるカビやドリップ漏出が発生した。このように「いちじく」の輸送には慎重を要するが、乾燥防止措置を施した上で FUTECC を用いることで品質維持が期待できる。

d) 甘藷、りんごなどのその他の農産物

「甘藷」、「馬鈴薯」、「みかん」、「りんご」は、FUTECC、リーファー、CA コンテナともに鮮度を確保できている。これらの貯蔵性の高い品目については、一般的なリーファーコンテナであっても高い品質が維持され、問題無く輸送されることが分かる。

「りんご」はエチレングスを放出し、他の品目の品質に影響を与えることがわかっている⁸⁾。しかし、第 2 回試験では 3 品種の「りんご」を輸送し、各箱にエチレン除去剤を入れるとともに、外装にフィルム包装を施す処置を講じたところ、他品目への影響は見られなかった。また、第 2 回試験では、5°C に設定したリーファーを用いているが、温度を 0°C に設定した FUTECC の方がエチレン放出量は少なかった。このように包装や温度設定によって適切な処置を施すことで、他品目への影響は最小限に抑制できることが分かる。

「柿」は第 2 回、第 3 回試験では品質スコアが 5 であるが、第 4 回の鮮度保持ボックス無しのケースでは 2 と低評価であった。試験時期によって品質スコアが異なるケースは「メロン」でも見られた。これらの品質低下要因の言及には今後詳細な検討を要するが、生産時期が品質維持状況を左右する一因となっていると考えられる。

(2) コンテナの違いが品質に与える影響

第 2 回試験では FUTECC とリーファーコンテナを比較した。結果、FUTECC が平均品質スコアで 0.2 ポイント、平均可販率で 4.4% 優位であった。特に「いちじく」、「シャインマスカット」、「小松菜」、「大葉」、「しいたけ」、「ぶなしめじ」で差が生じた。

第 3 回試験では、FUTECC と CA コンテナを比較した。結果、平均品質スコアでは CA コンテナが 0.2 ポイント優位であり、可販率では FUTECC が 4.3% 優位であった。

第 2 回、第 3 回の試験結果から、鮮度維持効果においては、FUTECC と CA コンテナはリーファー に比べ

て高く、CA コンテナが FUTECC と同等かやや優位であることが分かる。

(3) 試験結果のまとめ

試験では、大半の品目が十分な鮮度を維持できていることが分かった。一部、ナス、オクラ及びキュウリは低温障害が見られ販売には適さない状態であった。小松菜等は、リーファーコンテナでの輸送は困難であるものの FUTECC や CA コンテナを用いれば鮮度維持可能であった。レタス等は、MA フィルム包装を用いれば鮮度維持可能であった。全体を見れば、輸送した全 98 品目のうち、84 品目で十分な鮮度が維持できていることが分かった。

多品目を混載することによって品質に著しい影響が出る農産物は無かった。一部の品目では、乾燥対策や低温に対する措置を施す必要はあるが、それ以外の農産物においては特段の措置無しで混載輸送が可能であると判断できる。

また、全 4 回のいずれの試験でも、評価が高い方の試験条件の結果を見れば、平均品質スコアは 4 以上、平均可販率も概ね 90% を超えている。このことから、本モデル地域の農産物は、季節を問うことなく年間を通して高い品質で海上輸送可能であることが分かる。

MA フィルムによる包装は有用であるものの、梱包に費用と手間がかかることを考慮すれば乾燥しやすい品目に限定して使用することが望ましい。また、本試験における鮮度保持ボックスのように、MA フィルムの効果をより簡易に得るための工夫には、今後さらなる検討の余地があると言える。

4. 輸送工程の最適化に向けた検討

(1) 海上輸送の経済性検証

海上輸送は一度に大量の農産物を輸送でき、航空輸送と比べて輸送コストを大幅に抑制できる。単価の安い農産物の輸出では輸送コストの比重が大きく、輸送コストの抑制は、価格競争力の向上や生産者の増収に直結する重要な要素である。ここでは、海上輸送と航空輸送の具体的な輸送コストを試算し、海上輸送のコスト面での優位性を調べる。

a) 輸送コストの試算条件

輸送の経路（表-4）は、始点を静岡市中央卸売市場とし、海上輸送は、清水港を経てシンガポール港までと設定。航空輸送は、静岡空港から、那覇空港を経由しチャンギ空港までとする経路を設定した。この経路は、輸送コストが最安値となる経路である。

試算に用いる輸送品目は、高付加価値で海外での需

要が高い「いちご」とした。海上輸送の輸送ロットには 20ft コンテナへの満載重量 1,600kg を設定した。航空輸送の輸送ロットには、航空コンテナへの満載重量 100kg をそれぞれ設定した。航空輸送と海上輸送の輸送費の内訳を表-5、表-6 に示す。

b) 試算結果と考察

キロ当たりの輸送コストは、航空輸送が 1,071 円に対し、海上輸送（リーファーコンテナの場合）は 261 円と、航空輸送の 24.4%となる（図-4）。国内における「いちご」の一般的な卸売価格は 1 パック 300g あたり約 450 円（2020 年 1 月時点）であることから、それに追加される輸送コストは航空輸送で 321.3 円、海上輸送で 87 円となる。シンガポールでの卸売価格は航空輸送された場合の 771 円に対して、海上輸送された場合は 537 円と、価格は 234 円安く、比率も約 70%となり、輸送コストの抑制効果は大きい。

なお、リーファーコンテナより鮮度維持効果のあった CA コンテナではキロ当たり 75 円を加算した 336 円となり、航空便輸送のキロ当たり 1,071 円にたいして海上輸送の優位性を覆すものではない。なお、FUTECC は流通量が少なく、コンテナ使用料が設定されていない。

(2) 機能再編案の立案

前章では、海上輸送による農産物の鮮度維持状況を確認した。しかしながら、農産物の流通においては、鮮度が商品価値を左右する。ここでは、できるかぎり輸送日数を短縮するため、市場や通関などの機能のありかたを検討する。

東南アジア航路や近海航路では週 1 回寄港するウィークリーサービスが基本となっている。また、市場は日曜が休場であり、通関も土日は行われない。出港日と市場及び通関の営業日を踏まえると、現状では船積まで最大 5 日を要している。農産物の鮮度確保の観点から好ましいことではない。物流の効率化による農産物の輸出拡大に向けた戦略を以下の 2 段階に分けて提案する。

フェーズ 1 では、現状の週 1 回の寄港頻度を前提とし、輸送日数の短縮を目的とした再編案である。

フェーズ 2 は、清水港が将来的に多頻度で多くの航路をもつ農産物の輸出拠点として成長する戦略案である。

a) フェーズ 1：市場への機能集約

本試験で利用したシンガポールへの航路は火曜日に入・出港する。市場は日曜が休場であり、通関も土日は行われない。火曜日の船積に間に合わせるには、前週木曜日に市場で集荷し、金曜日に保税倉庫でバンニングと通関を行う。その後、金曜日中にコンテナターミ

表-4 試算における輸送経路

	航空輸送	海上輸送
概略経路	静岡市中央卸売市場	静岡市中央卸売市場
	↓	↓
	静岡空港	清水港
	↓	↓
	那覇空港	シンガポール港
	↓	
	チャンギ空港	
輸送品目	いちご	
輸送ロット	100kg	1600kg

表-5 航空輸送の費用内訳（航空コンテナ 1 個を満載）

輸出通関費	5,200	
陸送費（市場～静岡空港）	25,000	
航空輸送費（静岡空港-那覇空港）	34,600	作業費を含む
空港使用料（那覇空港）	7,000	
航空輸送費（那覇空港-チャンギ空港）	28,700	作業費を含む
空港使用料（チャンギ空港）	6,600	
合計	107,100	100kg あたり

表-6 海上輸送の試算条件（20ft コンテナ 1 個を満載）

輸出通関費	20,900	
陸送費（市場～倉庫）	40,000	
冷蔵倉庫使用料	56,000	
コンテナバンニング料	15,000	
陸送（倉庫～港）	37,000	
港湾内ハンドリング	42,000	
海上輸送	115,970	コンテナ使用料を含む
陸送（港～倉庫）	51,920	
コンテナデバンニング	38,720	
合計	417,510	1,600kg あたり

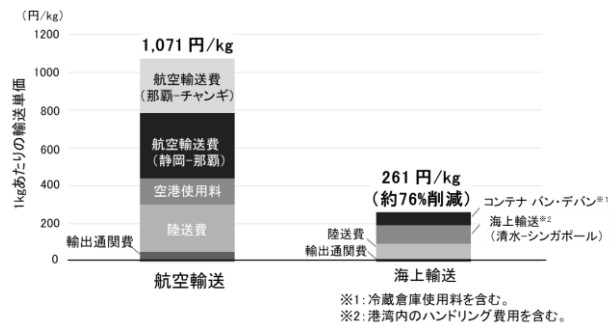


図-4 航空輸送と海上輸送の輸送コスト比較

ナルへ搬入し火曜日の船積となる。市場での集荷から船積までの所要日数は 5 日かかることになる。将来的に、寄港日が各曜日にシフトした場合の所要日数は、2 日から 4 日となる（表-7）。

フェーズ 1 は、通関とバンニングの機能を市場に集約することで、保税倉庫への横持ちの解消を図るものである。概念図を図-5 に示す。

フェーズ 1 では、市場から保税倉庫への運搬工程が省略され、市場での品目選定からコンテナターミナルへの搬入までが 1 日で完了できる。これにより、出港前日の月曜日中に船積前の作業を全て完了でき、船待ちが解消されることから、リードタイムが 4 日間（約 24%）短縮される。また、保税倉庫への横持ちが解消され、輸送コストも約 10%削減される。

フェーズ 1 の実現にあたっては、以下 2 つの措置が必要となる。第 1 に、コールドチェーンを確保するため、ドックシェルターを整備する。第 2 として、市場を保税地域として位置付ける。これには、他の国内向け農産物と混同しないよう厳粛に入出場管理することが求められる。市場の敷地内に保税地域を設ける場合、輸出用の農産物のみを扱う区画や倉庫施設を整備し、監視カメラ等により貨物の不正な混入を防止する措置を講じる。

b) フェーズ 2：流通経路の多様化への対応

農産物の輸出促進を図るうえで、流通の規模拡大と合理化に向けてフェーズ 2 を提案する。清水港では、農産物の輸出の取組が始まっている。フェーズ 1 により海上輸送が普及すれば、海外での需要はさらに高まると見込まれる。需要の増大に伴い、現状の市場を介した流通経路以外にも、複数の流通経路が生じ得ると考えられる。フェーズ 2 は、将来的に農産物の輸出が普及し、流通経路が多様化した場合に有効となる再編案である。概念図を図-6 に示す。

フェーズ 1 は図-6 中の経路 A で示した、市場を介する流通経路を最適化する手法である。フェーズ 2 では、その他の経路 B~D が発生した場合への対応として、コンテナターミナルに近接した場所にも通関とバンニング機能を配置するものである。

流通経路 B~D は、将来、清水港からの農産物輸出が普及するにつれて発生が予想される流通経路である。以下に詳細を示す。

経路 B は、市場を介さず海外のバイヤーと直接取引する経路である。情報通信技術の発展等により、売り手と買い手の結接が容易となり、市場を介さない流通が増加している。農産物輸出が十分に促進され、輸出向け農産物を大規模に生産する大手経営体が出現した際は、市場を介さない経路 B の発生が想定される。

経路 C は、九州や北海道等の他地域の農産物を満載したコンテナを、清水港経由で輸出する形態である。海外のバイヤーへのヒアリングでは、一つの港から日本各地の農産物を一括して輸入できる経路があることで、品揃えを増やし販売力を向上する大きなメリット

表-7 寄港日と国内での所要日数の関係

(単位: 日)

清水港への寄港日	月	火	水	木	金	土	日
国内での所要日数	4	5	2	2	2	2	3
再編(フェーズ 1)後の所要日数	3	1	1	1	1	1	2
再編(フェーズ 1)後の削減効果	1	4	1	1	1	1	1

本試験のスケジュール

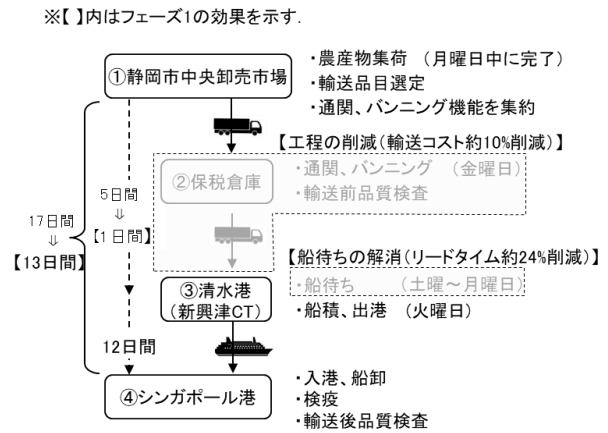


図-5 フェーズ 1 の概念図

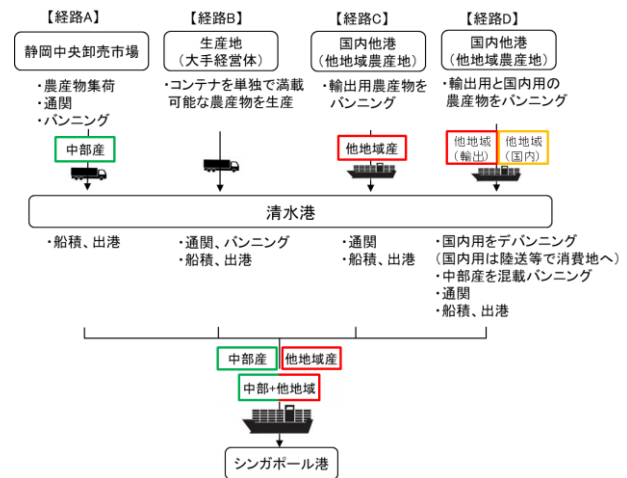


図-6 フェーズ 2 の概念図

となることが分かっている。

経路 D は、モデル地域内の農産物と他地域の農産物を併載して清水港から輸出するケースである。モデル地域では、夏から秋に比べて冬場は農産物量が少ない傾向がある。コンテナ積載容量に対して荷量が不足する時期には、集荷圏を拡大し他地域の農産物と併載した輸送が有効である。

経路 B においては、直接清水港に陸送し、通関とバ

ンニングを行える体制が理想的である。また、経路 C と経路 D では、他地域の港湾から海上輸送された農産物は清水港コンテナターミナル近くの岸壁に到着する。このように B~D のいずれの経路においても、通関とバンニングの機能が清水港のコンテナターミナル直近に集約したフェーズ 2 が理想的であると言える。

(3) 輸出環境の構築に向けた整備のあり方

立案した再編案にもとづき、今後の施設整備のあり方を考察する。

既存の流通経路を最適化するため、まずはフェーズ 1 へと再編する。フェーズ 1 は、市場を保稅地域に位置付け、コールドチェーン維持のための施設を整備することで体制が整う。フェーズ 1 により既存の流通経路を活性化し、輸出の普及を図る。このとき、施設整備には一定の費用を要するため、再編を進めるには公的な助成制度の創設が有効である。

将来的に、清水港からの農産物輸出が十分に普及し、流通経路が多様化した際には、フェーズ 2 へと移行し清水港を農産物の輸出拠点とする。通関やバンニングの作業スペースには、コンテナターミナル直背後にある既存の民間施設を活用しつつ、コールドチェーンの確保に必要な機能を付与していくことが望ましい。

このように段階的に機能を再編し、必要に応じて拡充していくことで、農産物輸出の普及と、将来的な拡大を図る。

5. まとめ

本稿では、海上輸送試験を軸として、2つの課題に対する解決策について報告した。

輸送試験では、高機能冷凍・冷蔵コンテナを用い、静岡市中央卸売市場にて集荷・選定された農産物を清水港からシンガポール港へと輸送し、鮮度維持状況を検証した。その結果、大半の農産物が高い品質で輸送され、年間を通して季節毎の農産物を輸出可能であることが分かった。また、多品目を混載した輸送についても、その可能性を示しつつ、配慮すべき事項、コンテナや MA フィルム等の機材の効果的な使用方法を考察した。

次に、現状の輸送工程における具体的な輸送コストや非効率な部分を検証し、通関とバンニングの機能を市場へと集約することで輸送コストと日数を削減できることを示した。また、将来的な流通経路の多様化を想定した再編案として、清水港コンテナターミナル直近にも同機能を配置する方法も提案した。さらに、立案した再編案をもとに今後の輸出環境構築に向けて 2

段階の整備のあり方を示した。

試験を進める中で、本稿で主眼とした鮮度維持と輸送工程の最適化とは別に、冬場の荷量不足という課題も抽出された。海上輸送の経済性を最大化するためには、コンテナを満載する荷量を確保が必要である。今後は、内貿航路による広域的な集荷を組入れた輸出環境を確立するため検討を進める必要がある。

謝辞：本検討において、鈴与（株）には海上輸送試験の実施に全面的な協力を頂いた。静岡県には販路等についてアドバイスを頂いた。（一財）みなと総合研究財団には、海上輸送試験の準備と、結果の取りまとめを委託した。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 農林水産省：平成 30 年度 食料・農業・農村の動向令和元年度 食料・農業・農村施策, 2019
- 2) 安永円理子：農産物・食品の安全と品質の確保技術(第 11 回)-収穫後青果物の品質変化予測モデルについて-, 農業食料工学会誌 77(4), pp. 246-251, 2015
- 3) 下渡敏治：卸売市場の集荷機能を活用した農産物輸出と輸出拡大への課題, 野菜情報, 36, 1 月号, 2017
- 4) Refrigerated Container : 冷凍・冷蔵コンテナ. 冷凍・冷蔵貨物(果物, 野菜, 肉, 魚介類などの生鮮食品, フィルムなどの化成品)を輸送を対象とし, 冷凍・冷蔵ユニットを内蔵, 所定温度を保持できるコンテナのこと. <https://www.mol-logistics-group.com/support/handbook/seacontainer/index.html>
- 5) Future Technology Cold-Chain Container : ㈱デンソーが開発した, 海上コンテナ業界初の 2 コンプレッサー 2 インバーター方式の冷凍コンテナ. インバーターを用いてコンプレッサーをきめ細かく制御し高い温度安定性を実現したもの. <https://www.denso.com/jp/ja/products-and-services/industrial-products/futec/>
- 6) Controlled Atmosphere Refrigerated Container : コンテナ内の CO2 レベル, 室温, 湿度を監視し, 農産物の追熟を助長する二酸化炭素, エチレンガス, 熱, 湿度を制御できる冷蔵・冷凍コンテナ, <https://containerauction.com/read-news/controlled-atmosphere-shipping-containers>
- 7) Modified Atmosphere Packaging (MA 包装) : 包装した食品に対して, 包装内のガス環境を内容食品の品質保持, シェルフライフの延長を行うのに最適なものに変更する包装手法, MA 包装には, 食品を包装する際に窒素や二酸化炭素などのガスを包装内に充填する ActiveMA と, 包装された食品の呼吸作用だけで包装系内を高二酸化炭素, 低酸素状態にする Passive MA がある. Passive MA は収穫後も呼吸を続けている野菜や果物の包装に利用されており, 一般的にはこれを MA 包装と呼ぶことが多い.
- 8) 椎名武夫：野菜の品質保持技術について, 野菜情報, 44, 9 月号, 2016

A FEASIBILITY STUDY ON MARINE REFRIGERATED CONTAINER TRANSPORTATION OF FRESH VEGETABLES AND FRUITS

Takehiro SAIKA, Yohei MOCHIDUKI and Atsushi IKEGAYA

Recently a marine refrigerated container has become an effective means to export fresh vegetables and fruits abroad. Even though waterborn transport takes longer time than air transportation does, the marine container can keep products' freshness with relatively low cost. In this paper, we transported fresh agricultural products in containers from the port of Shimizu to the port of Singapore. It took ten days in water transportation. Three types of containers were prepared: a conventional refrigerated container, a controlled atmosphere (CA) container and a highly controlled temperature container (futecc). The temperature in all containers were set zero degree Celsius, at which moisture in vegetables and fruits is kept in water level.

The test indicated that 84 out of 98 items remained good condition. However, egg plants, okras and cucumbers were spoiled by the temperature. Leaf vegetables (lettuce) and thinner skin fruits (muscat, figs) were withered by the dry air. On the other hand, merons, apples, mandarins, cabbages and etc remained their freshness. No clear quality differences in products were observed among three types of container.

As for Japanese strawberry, which is popular in Singapore, the transportation cost of the strawberry per kilogram to Singapore is JPY254 in waterborn and JPY1,071 in air respectively. The wholesale price of 300 gram strawberry in Japan is about JPY450. Additional waterborn transportation cost from Japan is JPY76.2. The total wholesale price in Singapore is JPY526.2 which can beat the price and quality competition in the Singapore market.

Finally, in the light of streamlining product transportation in Japan, we propose that a products collecting market, customs clearance should be consolidated into the port area. The consolidated facilities in the port will enable to collect the products not only its hinterland but also wider remote area in Japan by connecting domestic waterborn transportation network.