

青果物集出荷ルート最適化への AIDAの適用に関する研究

OPTIMAL ROUTING STRATEGY FOR FARM PRODUCT SHIPMENT USING AIDA

古池弘隆*、丹野善彦**、増田安彦***

By Hirotaka KOIKE, Yoshihiko TANNO and Yasuhiko MASUDA

Recent attempts by agricultural cooperatives to coordinate collection and shipment of farm products requires optimal strategy of dispatching and routing of trucks from producers to markets. The difficulty lies in a large number of different products which are harvested in varying amount in different seasons. In this paper authors tried to find the optimal routing and truck dispatch strategy using AIDA (Analysis of Interconnected Decision Areas). The finding was, despite the fluctuation of harvest volume, it is possible to choose a set of fixed routes throughout a year which is close enough to optimal route for each period. Also it was found that the proposed strategy can reduce transportation cost by as much as 43% from what costs now.

1、はじめに

現在の県北で生産される青果物は、県北の農協それぞれが別々のルートで市場に出荷している。そのため、地区間でのまとまりにかけ、品質、規格等に集出荷格差がでており、また、出荷量も少なく、同一地域の農協（産地）でありながら市場での評価が各々で異なっている。そこで、県北地域を市場で一つの産地として定着させるために、県北農協をまとめて、等品質で規格の揃った生産物を年間を通して継続的かつ等量的に市場に出荷する体制を整備する必要がある。そこで最近、県北農協の共販体制の強化と市場地位の確立、経営の安定化、生産規模の拡大を図るために、この体制を確立しよう、という声が高まってきている。

* 正会員 工学博士 宇都宮大学教授
工学部土木工学科
(宇都宮市石井町2-7-53)
** 工学学士 山形市役所職員
(山形市旅籠町2-3-25)
*** 工学学士 日本DEC
(豊島区東池袋3-1-1サンシャイン60 54f)

2、目的

青果物の流通の最適化をはかることは、大変難しい問題である。というのも、青果物の生産量は、気温や降水量といった気候因子の変化によって影響を受け、もっともミクロな見方をすれば、その年、あるいは、その日によってその生産量には多大な差を生じ、市場へのお荷ルートの考え方や、トラック台数の算定が容易でないためである。また、品目によって箱の大きさがまちまちで、重量が重いのに容積が小さいものや、逆に重量が軽いのに容積が大きいものなど千差万別なので、運送時に必要なトラックの台数を算出することは容易ではない。

本研究では、現在計画中である県北農協を一つの産地としてまとめあげるための、一つのステップとして、県北農協を統合したときの、集出荷時における運送費の削減及び、運送形態の合理化をはかり、最適な集出荷体制を求めることを目的とする。

3. 研究概要

本研究では、那須北地域にある7つの農協を一本化し、市場へ出荷する効率のよいルートを匂ごとに考えることにする。このとき、ルートについては、

- ①真空予冷施設が大田原にしかないので、真空予冷の必要のある品目を大田原まで運ぶルート
 - ②梨の選果場が湯津上にしかないので、梨を湯津上まで運ぶルート
 - ③予冷の必要のある品目を、冷蔵車で市場まで運ぶルート
 - ④その他の通常品目を市場まで運ぶルート
- の4種類について検討を行う。これらすべてのルートの検討には、プログラムを制作して行うこととする。また、使用する出荷量のデータは昭和62年度の那須北地域のデータのみとする。

(1) 対象地域

本研究の対象となる地域は大田原市、湯津上村、黒羽町、那須町、西那須野町、塩原町、黒磯市の二市五町にある七つの農協である。各農協はいくつかの支所を統合して成り立っている。本研究の対象とした7農協とそれぞれの支所を表1・図1に示す。

表 1

対象地域

大田原	塩原	黒羽	那須川西	湯津上	那須	黒磯
①本所 ②野崎 ③佐久山 ④梨園 ⑤金田 ⑥金丸 ⑦集荷所	⑧本所 ⑨塩原 ⑩上塩原	⑪本所 ⑫集荷所	⑬本所	⑭本所 ⑮東部 ⑯集荷所	⑰本所	⑱本所 ⑲集荷所

図 1

<対象地域>

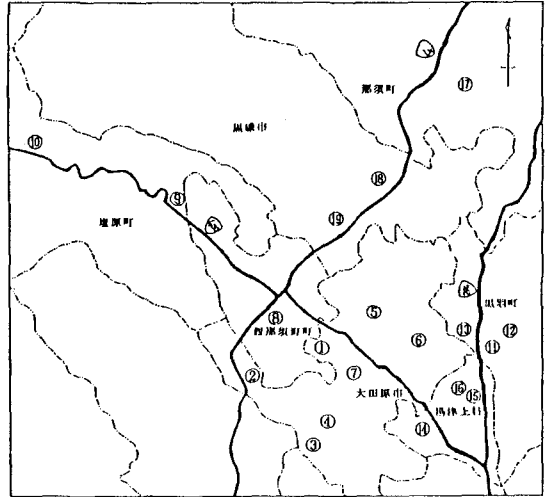


表 2

<対象品目>

品番	品目名	重量 (kg)	箱の容積 (cm)	品番	品目名	重量 (kg)	箱の容積 (cm)
1	アオキビタアイコン	10	28215.0	28	ワラビ	1	2160.0
2	ナス	5	13500.0	29	インゲン	2	5334.9
3	カブ	8	44955.0	30	ヘイワート (キーウイ)	3	7595.3
4	ナシ(ハウスイ)	10	24150.0	31	イチゴ ホウコウ	6	28759.5
5	ニラ	4	23256.0	32	イチゴ トヨノカ	6	28759.5
6	トマト	12	27283.5	33	スモモ(オオイシ)	8	17732.0
7	ナシ(ハウスイ)	10	24150.0	34	シンキヤヘツ	15	49152.0
8	ナマシイタケ	3	15372.5	35	スモモ(ソルダム)	8	17732.0
9	イチゴ ニヨホウ	6	28759.5	36	オクラ	3	15673.5
10	ヤマウド	2	7212.2	37	ナシ(チヨウシン ユウロウ)	10	24150.0
11	ホウレンソウ	5	55260.0	38	サニーレタス	4	39936.0
12	キャベツ	15	49152.0	39	ソラマメ	10	22302.0
13	キュウリ	5	9262.5	40	ナシ(ニイタカ)	10	24150.0
14	ブロッコリー	2	13119.8	41	ケンタツキー	2	5334.9
15	レタス	8	36225.0	42	ミヨウカ	10	26880.0
16	モモタロウマト	12	27283.5	43	マツシユルム	2	12408.0
17	トウガラシ	4	13860.0	44	ソウシユンキヤヘツ	15	49152.0
18	シユンキク	8	48563.2	45	ハニーハントム	10	30680.6
19	タアイコン	10	26208.0	46	ミヨウカ タケ	3	17493.0
20	ウド	4	11160.0	47	スモモ(サンタローザ)	8	17732.0
21	キヌ	4	23256.0	48	ナシ (シンコウ)	10	24150.0
22	イチゴ レイコウ	6	28759.5	49	ソノタナシ	10	24150.0
23	キーウイ	3	7595.3	50	フキノトウ	3	15312.0
24	サトイモ	5	9262.5	51	ピーターコーン	10	30680.6
25	フキ	4	4070.0	52	ヤツカ シラ	10	18525.0
26	エダマメ	10	26101.3	53	ヤマトイモ	4	10704.7
27	ナガナス	5	13500.0				

(2) 対象品目

本研究では、現在、那須北地域で生産されている53品目の青果物について検討する。53品目の内訳はこうになっている(表2)。品目の番号は、年間の出荷量の多い順につけてあり、この番号が1番から10番までの品目について、年間の出荷量を合計してみると、那須北地域の年間の総出荷量の80パーセント余りにも及ぶ。

(3) ルート考案時における制約条件

- ① 運送に使用するトラックは10トン車、4トン車、冷蔵車である。
- ② トラックの積載可能重量は、10トン車、4トン車、冷蔵車について、それぞれ、10トン、4トン、2.75トンとする。
- ③ トラックの積載可能容積は、10トン車、4トン車、冷蔵車について、それぞれ、52.24 m³、28.05 m³、20.52 m³とする。
これは各々の容積に余裕をもたせるために0.9をかけたものを用いている。
- ④ 予冷品目は冷蔵車で、真空予冷品目は大田原で真空予冷するまでは普通車(10トン車、あるいは4トン車)で、真空予冷後は冷蔵車で、その他通常品目については普通車で運ぶ。
- ⑤ 市場は東京の神田市場である。
- ⑥ トラックは満載した時点で市場に向かうものとする。
- ⑦ 農協から出荷するのは早くても午後1時、市場に到着するのは遅くとも午前0時でなければいけないので、トラックの最長走行時間が11時間以内でなければならない。
- ⑧ トラックの運賃は、実際に用いられている、10kmごとの走行距離に応じた料金表を使い計算する。
- ⑨ 運送する際に使用する道路は、県北地域ではトラックが実際に走っている道路を、市場に出荷する際は 国道4号線と294号線を用いる。
- ⑩ 一日当りの出荷量は、旬(10日間)の出荷量を8で割った値とする。
- ⑪ トラックの走行速度は30km/hとする。
- ⑫ 出荷物の積み込み並びに積み換え時間については、1か所で基本的にかかる時間を1時間とし、

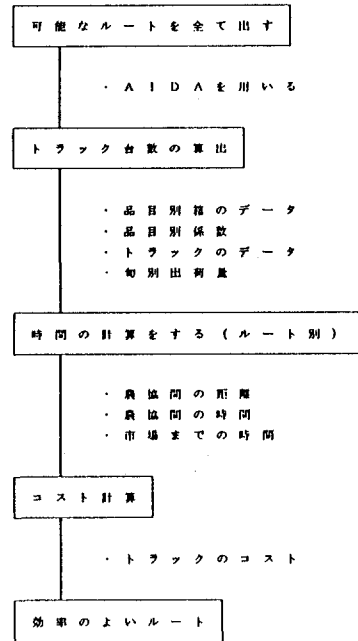
農協が1つ増えるごとに時間は1割ずつ増えるものとする。

(4) 最適ルートの算出方法

1) 最適ルート算出のフロー

最適ルートを考えるフローを図2に示す。

図2 <最適ルートのフローチャート>



まず最初にAIDAを用いて、ルートの可能性をすべて求める。このとき、この可能性の数は、一つの旬につき700万通りにおよぶが、このすべてについて、検討を行うこととする。

次に、トラック台数の算出を行い、各トラックの時間の計算を行い、コストを求める。

以上のような作業を旬ごとに、4種のルートのそれぞれについて行う。

2) 実行可能代替案の算出について

AIDA (Analysis of Interconnected Decision Areas) とは複雑な計画問題を意志決定という側面から構造化し、検討すべき代替案を作り出すための手法である。本研究では、択一的な意志決定を要する選択領域であるデシジョンエリアに7つの農協を、デシジョンエリアにおいて選択される対象であるオプションに、その農協を出たトラックが次にどこに行くかをとっている。

本研究では、通常用いられる線形計画法を用いずに、AIDAという手法を用いた。AIDAを用いることにより、考えられる全ての出荷ルートを列挙することが可能となり、最適値に近い解を多数得ることができる。これにより、ある程度の期間を通した最良ルートを得ることができる。

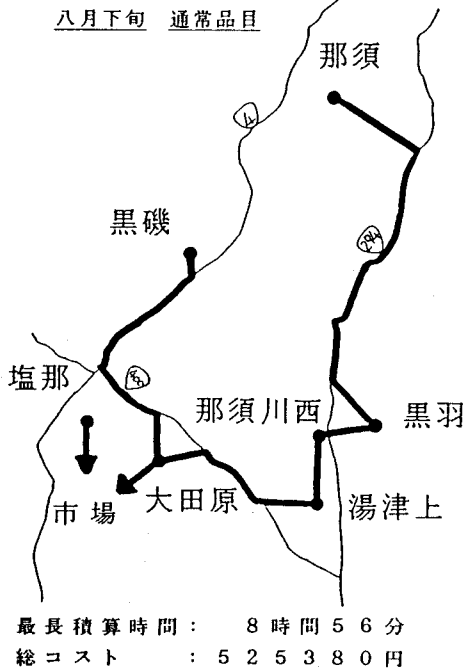
3) 容積換算係数について

品目によっては重量が軽いのに体積が大きいものや、逆に重量が重いのに体積の小さいものなど千差万別である。1台のトラックにどれだけ(何箱)載せることができるかは、トラックの制限重量と制限容積から決まる。1台のトラックに混載して運ぶ場合、重量と容積の両方を考慮して計算するのは容易ではない。そこで品目ごとに係数を用い容積を換算し、その換算容積で容量計算をおこなえば、重量と容積の両方を考慮したのと同じになるような係数(容積換算係数)を考案した。この容積換算係数の定義は以下のようである。

$$\text{容積換算係数} = \frac{\text{重量制限による積載可能箱数}}{\text{容積制限による積載可能箱数}}$$

(容積換算係数は、1以下とする)

図3 [プログラムにより算出したルート]



$$\begin{aligned} \text{重量制限による} &= \frac{\text{トラックの可能積載重量}}{\text{積載可能箱数}} \\ \text{容積制限による} &= \frac{\text{トラックの容積}}{\text{積載可能箱数}} \end{aligned}$$

ここで係数が1を越えてしまうと、容積的にトラックに載らなくなってしまうので、1より大きくなった品目の係数についてはすべて1とした。

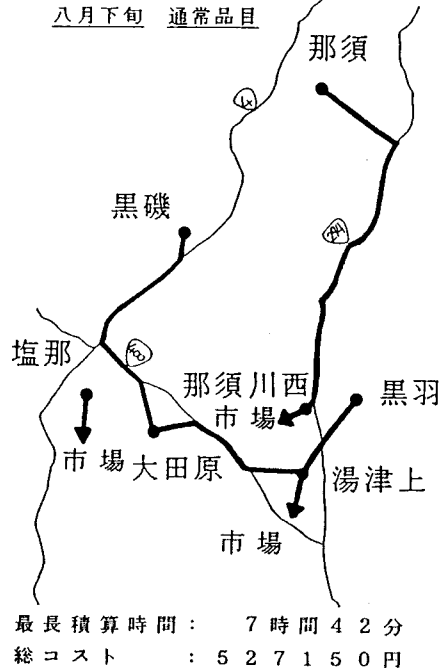
4) トラック台数の算出方法の手順(農協単位で)

- ①品目ごとにその旬の出荷量から出荷箱数を計算する。
- ②出荷箱数に一箱当りの容積をかけて、品目ごとの容積を計算する。
- ③品目ごとの容積を各々の容積換算係数で割って換算容積を計算する。
- ④品目ごとの換算容積を加えて旬の総換算容積を計算する。
- ⑤総換算容積をトラック1台の容量で割ってトラックの台数を算出する。

5) 運送時間の計算について

農協間の移動時間については、キルビメーターを用いて地図上で測定した農協間の距離(km)を、

[私たちが考案したルート]



30 km/hで割った値を用いた。

また、1つのルートでのトラック一台あたりの最長積算時間が11時間を越えるものについては、この時点で切り捨てるものとする。

6) トラックのコスト計算

時間の条件を満たしたルートについてすべてコスト計算を行う。トラックの運賃は走行距離によって決まっているので、トラックごとのコストはすぐにわかり、これを加えることによってルートのコストを計算することができる。ルート別にコストの計算が済んだら、これをコストの安い順に並び変える。

4. 結果と考察

1) 8月下旬のルートの比較

プログラムによって、最適ルートを4種類36句についてそれぞれ求めたが、その中から、年間で最も出荷量の多かった句である、8月下旬の普通品目のルート(図3)について、プログラムで算出したルートと私たちが考えたルートとを比較検討する。

これを比較すると、私たちが考えたルートの方が1770円コストは高くなっているが、1時間14分時間が短くなっている。

2) 年間ルートの求め方

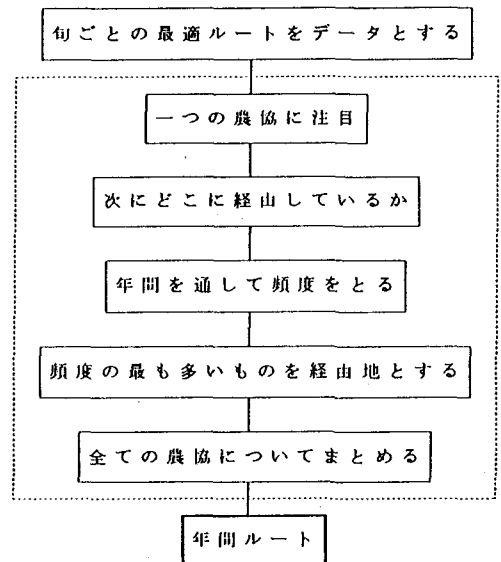
最適ルート案を品種ごとに36案比較してみても、そのそれぞれが異なったルートを使用していることが多い。実際に運輸する側から考えてみると、句ごとにルートが変化しては、対応していくのが困難であろう。そこで、年間を通じて同一のルートを使用した場合を考えて検討してみることにした。ここで、年間を通じて同一のルートを使用するにしても、コストをなるべく安価にすることを第一の目標にすることは今まで最適ルートを求めてきたときと同様である。

ここで年間を通じたルートを考案するために、36句のそれぞれのルート案に注目し、各農協から出発するトラックが、次にどこの農協に行くことが多いか回数を数えて、この回数が一番多い農協番号をそれぞれの農協から取り出して、年間ルートとした。年間ルートの求め方のフローを図4に示す。

3) 通常品目のコストの比較

通常品目のコストを表3並びにグラフ2に示す。また、通常品目の出荷容積の変動をグラフ1に示す。

図4 <基準ルートのフローチャート>



なお、ここで最適ルートとあるのは、プログラムで算出した一番コストの安かったルート案であり、年間ルートとは、先に求めた基準ルートを年間を通じて使用したルートである。現状ルートとあるのは、各農協それぞれが別々に運輸会社と契約した場合のルートを表したものである。

ここでグラフ2を見ても分かるように、最適ルートを用いた場合と、年間ルートを用いた場合では、コストの差もそれほど大きなものとはなっていない。コストの増える割合にしても、1、2パーセント程度となっており、コストの面ではほぼ条件を満たしていると考えられる。また、グラフ1、2を比較すると、出荷量に大きな変動が生じていても、コストはそれほど大きく変動しないことが分かる。また、現状ルートと比較すると、最適ルート及び年間ルートはともに、年間にして3千万円以上安くなっている。

4) コストの比較

その他の品種についてのグラフは、グラフ3～8に示す。真空予冷品目(グラフ3、4)は、年間の出荷容積の変動は大きい、コストは年間を通じてほぼ一定の値となっている。この理由としては、年間を通じて出荷容積のみで考えると、1台のトラックで運送が可能なのであるが、時間の制限があるために、最低2台のトラックが必要となるからである。

表 3

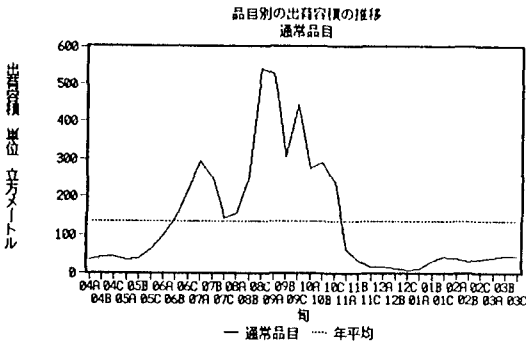
＜通常品目の年間のコスト＞

単位 (円)

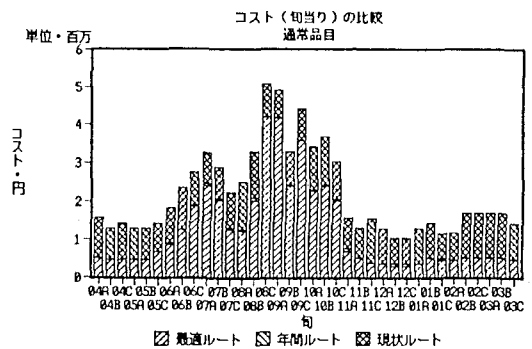
旬	一日当り			旬当り			コストの差A	コストの差B	コストの差C
	最適ルート	年間ルート	現状ルート	最適ルート	年間ルート	現状ルート			
04A	63700	63700	195460	509600	509600	1563680	0	1054080	1054080
04B	58910	58910	160000	471280	471280	1280000	0	808720	808720
04C	58910	58910	176690	471280	471280	1413520	0	942240	942240
05A	58910	58910	160000	471280	471280	1280000	0	808720	808720
05B	58910	58910	160000	471280	471280	1280000	0	808720	808720
05C	82460	83610	176690	659680	668880	1413520	9200	753840	744640
06A	106260	112940	228840	850080	903520	1830720	53440	980640	927200
06B	154950	154950	293990	1239600	1239600	2351920	0	1112320	1112320
06C	231990	233780	342680	1855920	1870240	2741440	14320	885520	871200
07A	299240	307690	408060	2393920	2461520	3264480	67600	870560	802960
07B	252330	259020	361250	2018640	2072160	2890000	53520	871360	817840
07C	154950	161620	280560	1239600	1292960	2244480	53360	1004880	951520
08A	153170	154950	312560	1225360	1239600	2500480	14240	1275120	1260880
08B	252320	260770	409940	2018560	2086160	3279520	67600	1260960	1193360
08C	525380	526000	638080	4203040	4208000	5104640	4960	901600	896640
09A	523610	524750	619510	4188880	4198000	4956080	9120	767200	758080
09B	299240	301010	408060	2393920	2408080	3264480	14160	870560	856400
09C	445310	445310	554130	3562480	3562480	4433040	0	870560	870560
10A	281280	283050	424750	2250240	2264400	3398000	14160	1147760	1133600
10B	299240	301010	458630	2393920	2408080	3699040	14160	1275120	1260960
10C	250550	252320	377940	2004400	2018560	3023520	14160	1019120	1004960
11A	85920	93200	195460	687360	745600	1563680	58240	876320	818080
11B	64250	65490	164610	514000	523920	1316880	9920	802880	792960
11C	47990	48700	196610	383920	389600	1572880	5680	1188960	1183280
12A	43910	43910	161150	351280	351280	1289200	0	937920	937920
12B	35460	42740	129150	283680	341920	1033200	58240	749520	691280
12C	35460	42740	129150	283680	341920	1033200	58240	749520	691280
01A	43910	43910	161150	351280	351280	1289200	0	937920	937920
01B	62480	62480	177840	499840	499840	1422720	0	922880	922880
01C	55800	61840	145840	446400	494720	1166720	48320	720320	672000
02A	54030	54030	145840	432240	432240	1166720	0	734480	734480
02B	62480	62480	209840	499840	499840	1678720	0	1178880	1178880
02C	62480	62480	209840	499840	499840	1678720	0	1178880	1178880
03A	62480	62480	209840	499840	499840	1678720	0	1178880	1178880
03B	62480	62480	209840	499840	499840	1678720	0	1178880	1178880
03C	58910	58910	176690	471280	471280	1413520	0	942240	942240
合計	5449660	5529990	9770670	43597280	44239920	78165360	642640	34568080	33925440

コストの差A＝年間ルート－最適ルート
コストの差B＝現状ルート－最適ルート
コストの差C＝現状ルート－年間ルート

グラフ 1



グラフ 2

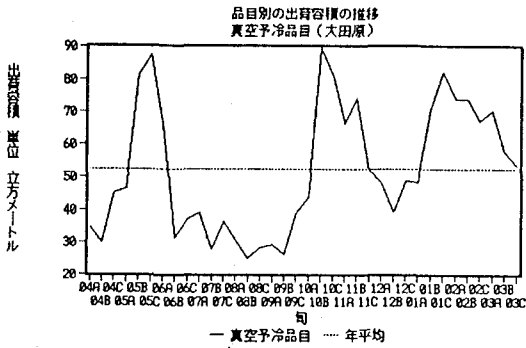


ナシ (グラフ 5, 6) については、8 月下旬から 10 月中旬までの 6 旬 (2 カ月間) でしか出荷されていない。つまり年間の出荷容積の平均値を使ってルートの検討をするのには、無理があることが分かる。また、最適ルートと比較して、年間ルートが多少コストが高くなっている。これは年間ルートを使用した場合、必ずしも年間を通じて安価なコストで運送することができないということであり、年間を通じて一つのルートを使用した場合の一つの欠点であるといえる。予冷品目 (グラフ 7, 8) については、出荷量とコストの変動がほとんど同じ動きを示して

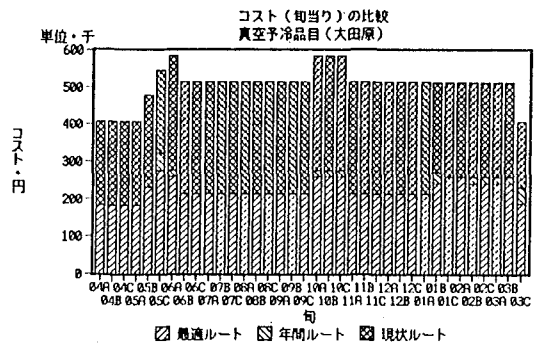
おり、年間を通じて最適ルートと年間ルートのコストの差はほとんど見られない。出荷容積がある程度小さな値になってもコストの値が小さくならないのは、真空予冷品目の場合と同様の理由によるものと思われる。

また、年間を通じて 4 種のルートのコストを合計した場合をグラフ 9 に示す。このグラフを見ても分かるように、最適ルートを用いた場合と、年間ルートを用いた場合では、コストの差もそれほど大きなものとはなっていない。コストの増える割合にしても、真空予冷品目で 10.3 パーセント、ナシで 9

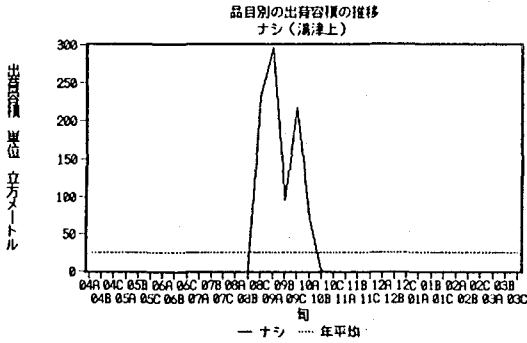
グラフ 3



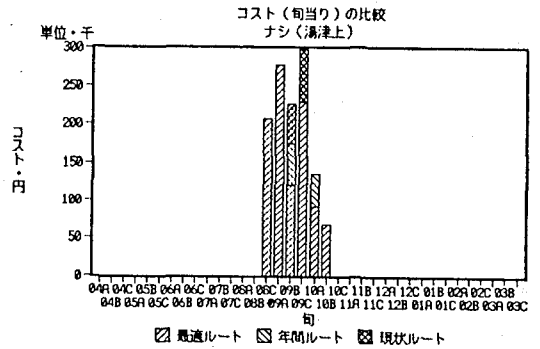
グラフ 4



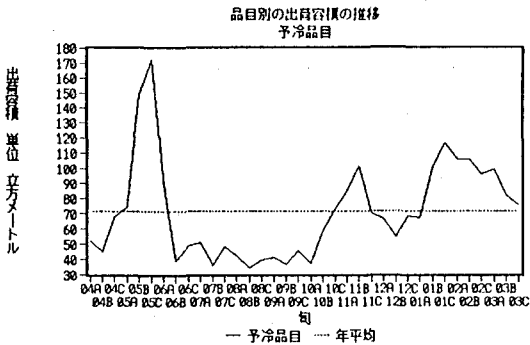
グラフ 5



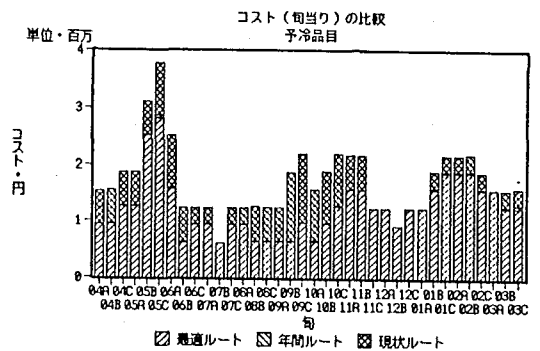
グラフ 6



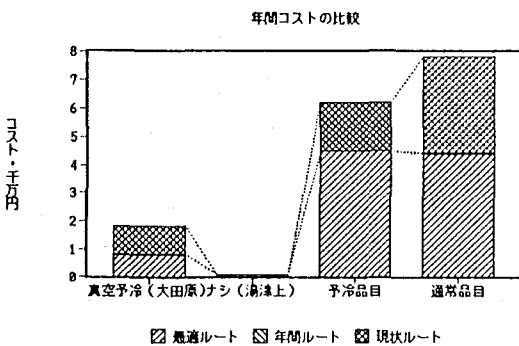
グラフ 7



グラフ 8



グラフ 9



8 パーセント、予冷品目でほぼ 0 パーセント、となっており、コストの面では年間ルートもほぼ条件を満たしていると考えられる。

ところで、今回用いたデータは、昭和 62 年度の出荷量のデータのみである。将来、今回用いたデータと比較して、変動がある場合が十分考えられる。また、その変動がどのようなものであるかも明らかではない。そのような状況の中で、私たちが今回仮定した年間ルートは、1 年間の出荷量にしても相当の変動があるにも関わらず、最適ルートと比較して

もそれほど大きくコストが高くなっていない。もし過去のデータを基にして将来の最適ルートを算出する場合、将来の出荷量に変動が生じると、算出した最適ルートが必ずしも最適とはならない場合がある。これに対して年間ルートをうければ、出荷量が多少変動しても、それほどコストが変わらずに出荷することが可能である。

5. 結論

以上から、出荷している農協の数が少ないときは、人間が考えても最適ルートを考えることはできるが、出荷している農協の数が増えると、人間が考えたのでは見落としてしまうルートの代替案が発生する割合が大きくなることが推測できる。また、本当にコストが安くなることを重視するならば、旬ごとにルートを検討して、トラックを配置することが必要であるといえる。しかし、旬ごとにルートを変化させることが困難である場合は、年間を通じて一つのルートを使用しても、それほど大きなコストの変動は起きないと思われる。また、その場合にはトラックの配置のみを考えれば良いので、ルートの検討に要する手間が不必要になるという面でも有効的な考え方であるといえる。

6. 今後の課題

- (1) 本研究では全ての農協を同等に扱っている。そのため、明らかにコストが高くなると思われる、南から北に向かうようなルートも代替案として扱ってしまっている。そのようなルートの代替案は本研究の目的である効率のよいルートとは成り得ない。このようなルートを排除するための方法として、オプションを操作、あるいはオプションバーを引くことがあげられる。これによって代替案の数を減らすことができる。
- (2) 本研究では、現在各農協で用いている集出荷施設をそのまま用いて、市場に出荷することを前提としている。今後は新たな集出荷体制を仮定して、検討してみることも必要であろう。AIDAを用いて出荷体制の代替案を作成するとしたとき、表4のようなデシジョンエリアおよびオプションが考えられる。

表4 <デシジョンエリアとオプション>

デシジョンエリア	オプション
中央集荷所と既存集荷所	1. 中央集荷所のみ 2. 部分集荷所 3. 既存集荷所のみ
出荷体制	1. サブセンターを使用 2. 一元集荷 3. 分散集荷
大規模な転作	1. 予冷品目を作る 2. 予冷品目をやめる
真空予冷施設	1. 増設 2. 現状のまま 3. 廃止
予冷施設	上と同じ
選果方法	1. 家選 2. 選果機
自動選果機	1. 導入(？品目) 2. 導入しない
中央施設の大型化	1. ？年後にする 2. しない
輸送力の増強	上と同じ
中央集荷所の処理能力	1. ？パレット／日

表4のようなデシジョンエリアおよびオプションを用いて、AIDAを適用すると、那須北地域の集出荷体制の代替案を求めることができる。これはまだほんの一例であり、他にもまだデシジョンエリアやオプションが多数存在する。その検討をおこなうことは本研究ではできなかったもので、今後はデシジョンエリアおよびオプションの設定、オプションバーを引く基準の検討をおこなってほしい。

《参考文献》

1) A l e n H i c k l i n g : A I D S
T O 7 b e r t M 大久保昌一監訳：都市
I R 計 画 交 通 計 画 関 係 考 察
2) 1 9 7 6 年 文 化 省 計 画 院 編 著 市 街 地 交 通 計 画 関 係 考 察
3) 古 田 孝 一 著 交 通 計 画 関 係 考 察
4) 戸 田 孝 一 著 交 通 計 画 関 係 考 察
5) 略 名 著 交 通 計 画 関 係 考 察
6) 中 画 著 交 通 計 画 関 係 考 察
7) 古 田 孝 一 著 交 通 計 画 関 係 考 察