表計算ソフトを使用した「輸送計画」のシミュレーション

概要

　私たちの周りには、工場、倉庫、物流センターから、商店、スーパー、コンビニなど、ある場所から別の場所へ商品を配送するということが種々なところにある。これらは、「輸送計画」という技法で「最小の輸送費用で配送する」という計画を解決できる。ここでは、「輸送計画」の基礎的な考え方を学習する。なお、前提として「表計算の操作」を学習しておくことが望ましい。

キーワード

　輸送計画、待ち行列、表計算

１．学習活動

（１）問題

　次のモデルによる輸送計画を考える。

　配送センターは２ヶ所（C1，C2）、スーパーも２ヶ所（S1，S2）とする。S1から６個、S2から９個の受注をした。在庫は、C1に１０個、C2に５個ある。輸送単価は、（C1，S1）が２千円、（C2，S2）が１千円などである。

　この条件で、最少の輸送費用で配送する計画を立案する。

摘要	C1	C2	受注
S1	２千円/個	３	６
S2	４	１	９
配送	１０	５	１５

図１　配送量と配送費用

（２）モデル化

　上記の問題文より、数値データをモデル化する。

摘要	C1	C2	受注
S1	x	y	６
S2	z	w	９
配送	１０	５	１５

図２　配送量の定式化

①制約条件式

$$\begin{cases} x+y=6 \\ z+w=9 \end{cases} \qquad \begin{cases} x+z=10 \\ y+w=5 \end{cases}$$

　②目的関数

$$Z\min = 2x+3y+4z+1w$$

　③非負条件

$$x\geqq 0 \quad y\geqq 0 \quad z\geqq 0 \quad w\geqq 0$$

（３）シミュレーション

　このモデルは次の点で、特殊なモデルである。

　①制約条件式の係数（x，y，z，w）はすべて１で、左辺と右辺は等式（＝）である。

　②逆行列がないから、この連立方程式は、一般的に「解不能」である。

　③受注と配送は均衡である。

　したがって、このモデルの解法は、どれかの未知数に「仮の解」を入れて、順次すべての未知数を確定し、最適解かどうかを評価する手続きを繰り返す。

解）例１　制約条件式で、「x＝1」とすると、

$x=1 \quad y=5 \quad z=9 \quad w=4$

目的関数 Zmin は

$=2\times1+3\times5+4\times9+1\times4=57$

となる。これは、許容解の１つであるが、これが「最少費用」であるかは、評価を要する。

解）例２　このモデルでは、（C2，S2）が１千円と配送費が最少であるから、このルートを使用することを考える。「w＝５」とすると、

ｘ＝６　ｙ＝０　ｚ＝４　ｗ＝５
目的関数　Zmin は
＝２×６＋３×０＋４×４＋１×５＝３３
となる。これが「最少費用」となる。

（４）北西隅ルール

上記の計算方法を表形式で行うには、「北西隅ルール」を用いる。これは左上隅のマスから埋めて、初期解を求める方法である。

解）例３　左上隅の（C1，S1）に受注数６を入れる。C1の配送量の残り４をＳ2へ配送する。C2の配送量５はＳ2へ配送する。これにより、

Zmin＝２×６＋３×０＋４×４＋１×５
＝３３

は、許容解の１つである。

摘要	C1	C2	受注
S1	6	0	6
S2	4	5	9
配送	10	5	15

図３　北西隅ルールの評価（１）

解）例４　ここで、（C2，S1）のルートが0であるから、このルートを使用することを考える。

（C2，S1）＋１　→　（C2，S2）－１　→
（C1，S2）＋１　→　（C1，S1）－１

摘要	C1	C2	受注
S1	6 (-1) →	0 (+1) ↓	6
S2	↑ 4 (+1) ←	5 (-1)	9
配送	10	5	15

図４　北西隅ルールの評価（２）

（C2，S1）の配送量を１ヶ増加すると、

輸送費用　＝　－２＋３－１＋４　＝　＋４

と、輸送費用は４千円増加するから、このルートの利用は得策でない。

このように他のルートについての配送量を変更し、配送費用の最少を求める。

このモデルの場合、解）例３が「最適解」である。

２．コンピュータによるシミュレーション

（１）問題

ＣＤレンタルチェーン店のＴＳＵＴＡ屋は、４箇所の倉庫から３箇所の販売店へ商品の輸送計画を立てている。４箇所の各倉庫、土岐倉庫、各務原倉庫、下呂倉庫、羽島倉庫の在庫量と３箇所の販売店、中津川店、岐阜店、大垣店の需要表は図５のようになっている。

この表にはさらに倉庫から販売店に向かって商品を１個輸送するに要する輸送費が記入されている。たとえば土岐倉庫から中津川店に１個送れば輸送費３千円がかかり、輸送費は送る個数に比例して増えるものとする。

最小の輸送費で、各販売店の需要をすべて満たすようにするにはどのような輸送計画を立てればよいのか、図６でシミュレーションする。

（２）作業の手順

①図５の「各倉庫の配送量」「各販売店の受注量」「倉庫と販売店の輸送費用」の三項目に、データが入力されていることを確認する。

②倉庫から販売店への配送量を図６に入力し、総輸送費が最少となる最適解を求める。

③「配送」（式１）。

④「過不足〔販売店〕」（式２）。

⑤「受注」（式３）。

⑥「過不足〔倉庫〕」（式４）。

⑦「総輸送費」（式５）。

	A	B	C	D	E	F	G
1				資料：倉庫と販売店における輸送費用			
2		販売店＼倉庫	土岐倉庫	各務原倉庫	下呂倉庫	羽島倉庫	受注
3		中津川店	3	4	2	3	30
4		大垣店	4	2	5	3	50
5		岐阜店	2	1	4	4	40
6		配送	25	30	40	25	120

図５　倉庫と販売店における輸送費用

	A	B	C	D	E	F	G	H
9				回答欄：配送量入力				
10		販売店＼倉庫	土岐倉庫	各務原倉庫	下呂倉庫	羽島倉庫	受注	過不足
11		中津川店	0	0	30		（式３）30	（式4）0
12		大垣店	14	1	10	25	50	0
13		岐阜店	11	29	0	0	40	0
14		配送	（式１）25	30	40	25	90	
15		過不足	（式２） 0	0	0	0		
16		総輸送費	（式５)295					

図６　配送量入力シート

この図６により、このモデルにおける輸送計画が解析できる。

３．備考

（１）配送

式１　=C7-C11-C12-C13+C7

（２）過不足（販売店）

式２　=C14-C7

（３）受注

式３　=SUM(C11:F11)

（４）過不足（倉庫）

式４　=G11-G4

（５）総輸送費

式５　=C4*C11+C5*C12+C6*C13
+D4*D11+D5*D12+D6*D13
+E4*E11+E5*E12+E6*E13
+F4*F11+F5*F12+F6*F13

（６）配送量の定式化

	P１	P２	P３	P４	受注
M1	a	b	c	d	３０
M2	e	f	g	h	５０
M3	i	j	k	l	４０
配送	２５	３０	４０	２５	120

図７　配送量の定式化

（７）初期解を求める

このモデルでは、（P２，M3）が１千円と配送費が最少であるから、このルートを使用することを考える。配送量の限度の「ｊ＝３０」とすると、　ｂ＝０　ｆ＝０　となる。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	3	4=0	2	3	３０
M2	4	2=0	5	3	５０
M3	2	1=30	4	4	40→10
配送	２５	30→0	４０	２５	

図８　初期解（１）

次に、（P３，M1）が２千円と配送費が最少であるから、受注量の限度の「ｃ＝３０」とすると、　ａ＝０　ｄ＝０　となる。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	3=0	0	2=30	3=0	30→0
M2	4	0	5	3	５０
M3	2	３０	4	4	１０
配送	２５	0	40→10	２５	

図９　初期解（２）

次に、（P１，M3）が２千円と配送費が最少であるから、受注量の限度の「ｉ＝１０」とすると、　ｋ＝０　ｌ＝０　となる。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	0	0	３０	0	0
M2	4	0	5	3	５０
M3	2=10	３０	4=0	4=0	10→0
配送	25→15	0	１０	２５	

図１０　初期解（３）

最後に、配送費が最少の（P4，M2)、（P1,

M2)、（P3, M2）の順に、配送量の限度の「h＝２５」、「e＝１５」「g＝１０」とする。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	0	0	３０	0	0
M2	4=15	0	5=10	3=25	50→0
M3	１０	３０	0	0	0
配送	15→0	0	10→0	25→0	

図１１　初期解（４）

上記の結果、各倉庫から各販売店への配送量を　a＝0　b＝0　c＝３０　d＝0
　e＝１５　f＝0　g＝１０　h＝２５
　i＝１０　j＝３０　k＝0　l＝0
とすると、目的関数 Zmin は、
　＝３×０＋４×０＋２×３０＋３×０
　＋４×１５＋２×０＋５×１０＋３×２５
　＋２×１０＋１×３０＋４×０＋４×０
　＝２９５
となる。これは、許容解の１つであるが、これが「最少費用」であるかは、評価を要する。

（８）解の改善

ここで、（P1, M1）のルートが０であるから、このルートを使用することを考える。
（P1, M1）＋１　→　（P3, M1）－１　→
（P3, M2）＋１　→　（P1, M2）－１

（P1, M1）の配送量を１ヶ増加すると、
輸送費用　＝　＋３－２＋５－４　＝　＋２
と、輸送費用は２千円増加するから、このルートの利用は得策ではない。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	0(+1)→	0	30(-1)	0	３０
M2	15(-1)←	0	10(+1)	２５	５０
M3	10	30	0	0	４０
配送	２５	３０	４０	２５	120

図１２　解の改善（１）

次に、（P2, M2）のルートが０であるから、このルートを使用することを考える。

（P2, M2）＋１　→　（P2, M3）－１　→
（P1, M3）＋１　→　（P1, M2）－１

（P2, M2）の配送量を１ヶ増加すると、
輸送費用　＝　＋２－１＋２－４　＝　－１
と、輸送費用は１千円減少するから、このルートの利用が有利である。

	P1	P2	P3	P4	受注
M1	0	0	３０	0	３０
M2	15(-1)→	0(+1)	１０	２５	５０
M3	10(+1)←	30(-1)	0	0	４０
配送	２５	３０	４０	２５	120

図１３　解の改善（２）

このように他のルートについの配送量を変更して配送費用の最少を求める。

このモデルの場合、最適解はZmin＝２８０千円である。

４．情報活用内容（学習実践方法と情報活用内容）

（１）ワークシートのダウンロード

シミュレーションで使用するExcelワークシートは、http://www.gdpec.smile.pref.gifu.jp/~s07/or/　からダウンロードできる。（ただし、ＳＭＩＬＥ端末のみアクセス可能）

（２）演習問題

①Q社は、４箇所の倉庫から３箇所の販売店へ商品の輸送計画を立てている。４箇所の各倉庫（W1～W4）の在庫量と３箇所の販売店（C1～C3）の需要表は下図のようになっている。

最小の輸送費で、各販売店の需要をすべて満たすようにするにはどのような輸送計画を立てればよいのか求めなさい。Zmin=1,750千円

	W1	W2	W3	W4	受注
C1	７千円/個	3	1	5	100
C2	4	7	6	8	250
C3	3	3	4	2	145
配送	150	200	135	50	