著者	窪田 道典
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	23
ページ	47-64
発行年	1980-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000814

550.34.044

地殻変動連続観測所の最適配置の決定

窪田道典*

国立防災科学技術センター

The Optimum Allocation of Continuous Crustal Deformation Observatories

By

Michinori Kubota

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

The optimum allocation of observatories for continuous crustal deformation measurement is determined by means of zero-one integer programming. The objective function in this problem is the number of earthquakes detected by at least one observatory, and the constraint is the number of the observatories. The optimum allocation is obtained by maximizing the objective function subject to this constraint. This method is applied to Japan islands.

1. 序 論

地震のような、いつ襲ってくるか分からないものに挑戦しようとする、地震予知という研 究分野においては、地震に対する戦略を考えることは必須である。つまり、予知・予測に関 する分野では、最小の努力で最大の効果を上げるためには、どのように行動するのがよいか を定量的に決定するよう、常に考慮に入れていなければならない。言い換えれば、戦略それ 自身が予知研究そのものである。

種々の戦略の中でも,計測センサー配置の問題は最も基本的なものの一つである. つま り,限られた予算によって制限を受けた,限られた数のセンサーをどのように配置すれば最 も効果が上がるか,その配置を決定することは基本的に重要なことである. この報告では, 地震予知における基本的戦略である,地殻変動連続観測所の最適配置の決定について 論 じ る.

Shimazaki (1972) は、地殻変動連続観測所を新たに一個所設置する場合について、 どこ に置くのがよいかを論じている.しかし、複数個を同時に設置する場合については何も論じ ていない.ここでは、一般的に複数個の地殻変動連続観測所を、同時に設置する場合の最適

* 元第2研究部

国立防災科学技術センター研究報告 第23号 1980年3月

配置について論じ,結果を日本列島に対して応用する.

広くこのような問題の解決のための考え方・手段を与えるものに、オペレーションズ・リ サーチ(作戦研究)がある.ここでは、オペレーションズ・リサーチの手法を用いて、最適 配置問題を解くことを考える.オペレーションズ・リサーチの手法の一般的な手順は、次の ようなものである.まず解こうとする現実問題を簡略化・モデル化し、数学的な定式化が可 能な形にする.それから、最適化を行ない、解を求めるのである.

ここでは、オペレーションズ・リサーチの手法の一つである数理計画法を用いて、最適化 問題を解くことを考えるので、以下簡単に、数理計画法において、広く用いられている用語 の説明を与えておく.

日的関数:決定変数と最適化規準(すなわち問題の目的)との関係を与える関数のことで ある. この関数を定式化するときに,簡略化,モデル化の考えが利用される.

制約条件:決定変数が,取り得る値を制限する数式のことである。一般に等式,あるいは 不等式によって表わされる。

これらの用語を使えば、最適化問題を解くことは、次のように表現できる.すなわち、制 約条件の下で、目的関数の値を問題に応じて最大、あるいは最小にする決定変数の値を見つ けることである.

2. 最適配置問題の数学的定式化

定量的な調論をするためには、まず、何をもって最適とするかという最適化規準を、はっ きり定める必要がある.ここでは、最適化規準を、少なくとも1個所の地殻変動連続観測所 によって検知される地震の個数が、最大であることと定める.ただし、同じ地震は1回しか 数えない.このような最適化規準に従い、地殻変動連続観測所の最適配置を決定する問題 を、数理計画法によって定式化する.

最適化問題は、一般的に、次のように定式化される.

不等式制約条件,

$$g_i(x_1 \cdots x_n) \leq 0 \quad i = 1 \cdots m \tag{1}$$

及び等式制約条件.

$$h_j(x_1 \cdots x_n) = 0 \quad j = 1 \cdots S \tag{2}$$

を満たし,目的関数,

 $Z(x_1 \cdots x_n)$

を最大または最小にする $(x^{0_1}, \dots, x^{0_n})$ を見つけること. ここで、 $x_k(k=1, \dots, n)$ は決定定数、nは決定変数の数、mは不等式制約条件の数、Sは

決定変数:意思決定者(計画立案者)が,決定できる変数,あるいは制御できる変数を意 味する.

等式制約条件の数である. g_i , h_j ,Zのうち一つでも非線型ならば,非線型計画法と言われ, 全てが線型ならば,線型計画法と言われる.決定定数 $x_k(k=1, \dots, n)$ が,整数値のみを 取るとき整数計画法,整数のうち,0と1の値のみをとるとき,0-1計画法と言われる.

地殻変動連続観測所の最適配置という問題における決定変数,制約条件,目的関数の具体 的意味は,次の通りである.

決定変数を、 x_i と表わし、これは、i という場所に設置するか、しないかを決める変数 であり、0と1の値しかとらない、 $x_i=0$ のときは設置しないことを意味し、 $x_i=1$ のと き、設置することを意味する、制約条件は、予算つまり地殻変動連続観測所の設置個所の数 である、数式で表わせば、

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = L \tag{3}$$

と表わせる.ここでLは、これから設置しようとする地殻変動連続観測所の総数であり、 *n* は配置しようとする候補地の総数である.

目的関数を作るには、数理計画法においてセデル化と呼ばれている手続きが必要である. まず、検知行列というものを定義する. センサーを置く場所をjとし、地震の起こる場所を iとする. 検知行列の(i, j)成分は次のように定義する. もしiで起こる、あるマグニ チュードの地震が、jという場所のある検知限界をもったセンサーによって検知できるなら ば、(i, j)成分は1,もし検知できないならば、0とする. 検知行列の行は、地震の起 こる場所を示し、列はセンサーを置く場所を示す. このような検知行列を、iという行につ いて見る時、その行の1の総数は、iという場所で起こる地震を検知する場所が何個所ある かを示している. 今、iという場所で起こる地震が、 n_i 個所で検知されるとし、 σ を適当な 置換として、 $\sigma(1)$, $\sigma(2)$ …… $\sigma(n_i)$ という場所で校知されるとする. われわれの最適化規 準は、少なくとも1 個所のセンサーで検地される地震の個数を最大にすることである. しか も、その時同じ地震は1 回しか数えない. 従って、われわれの求めたい目的関数の一つの項 (第i項に対応)は、次の性質をもっていなければならない. すなわち、目的関数の第i項 を f_i とすると.

$$f_{i}(x_{1}, x_{2}, \dots, x_{n}) = f_{i}(x_{\sigma(1)}, x_{\sigma(2)}, \dots, x_{\sigma(n_{i})})$$

$$= \begin{cases} 1 & (\oint t_{n} \langle \xi \rangle \langle \xi \rangle - \Im \mathcal{O} \mathcal{O} x_{\sigma(j)} & \# 1 & \mathcal{O} \rangle \langle \xi \rangle \rangle \\ 0 & (\pounds \tau \mathcal{O} x_{\sigma(j)} & \# 1 & \mathcal{O} \rangle \langle \xi \rangle \rangle \end{cases}$$
(4)

となる関数であることが必要である.

このような関数は、xの補数を使うと、陽な形で表現することができる。xの補数を \overline{x} と表わし、次のような性質をもつ。

x=1のとき, $\bar{x}=0$, x=0のとき, $\bar{x}=1$, つまり

$$\bar{x}=1-x$$

- 49 -

である.

この
$$\bar{x}$$
を用いると、 f_i は
 $f_i(x_{\sigma(1)}, x_{\sigma(2)}, \dots, x_{\sigma(n_i)}) = 1$
 $- \bar{x}_{\sigma(1)} \cdot \bar{x} \dots \bar{x}_{\sigma(n_i)}$ (5)
と表わせる。
証明) 少なくとも一つの $x_{\sigma(j)}$ が1のと

き, $\bar{x}_{o(j)}$ は 0 となるから, 右辺は 1 となり, 左辺=1であるから正し い.

> 全ての $x_{\sigma(j)}$ が0のとき, $\bar{x}_{\sigma(j)}$ は 全て1となるから,右辺は0とな り,このとき左辺も0であるから正 しい.

従ってどのような場合でも左辺=右辺.(証明終り)

*i*という地震の起こる場所の 重みを a_i と する. 例えば, a_i は1年間に起こる,あるマ グニチュードの範囲の地震の総数 など で あ る. この a_i と $f_i(x_j)$ を使えば,目的関数 Z(x_j) は次のように表わされる.

- 表1 簡単な例の場合の検知行列 地震生起場所とセンサー配置場所の 数はそれぞれ5個所.行は地震生起 場所,列はセンサー配置場所を示 す.もし,*i*という場所に生起した 地震が、*j*という場所におかれたセ ンサーによって検知されるならば、 行列の(*i*, *j*)成分は1,検知さ れなければ0である.
- Table 1 Detection matrix for a simple example. Both the numbe or the earthquake occurring places and that of the allocation places for sensors are five. The columns represent the earthquake occurring places, and the rows represent the allocation places for sensors. If the earthquakes occurring in i place can be detected by the sensor set in j place, (i, j) element of the matrix is one, otherwise zero.

主	1
10	1

E/S	1	2	3	4	5
1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	1
3	0	1	0	0	1
4	0	0	1	1	0
5	0	0	0	1	1

$$Z(x_j) = \sum_{i=1}^{m} a_i f_i(x_j) \tag{6}$$

ここで、mは地震生起場所の総数である.この $Z(x_j)=Z(x_1,x_2,....,x_n)$ を、制約条件の下で最大にする $(x^{0_1},x^{0_2},....,x^{0_n})$ を求めるならば、それが最適配置を与える.

3. 簡単な例

変数の少ない簡単な例を使って具体的に説明する.

いま,検知行列Dは表1のように与えられているとする.行は地震発生場所を示し,列はセンサー配置場所を示す.上記の理論によって,各fiを求める,

$$f_1(x_j) = 1 - \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \tag{7a}$$

$$f_{2}(x_{j}) = 1 - \bar{x}_{1} \cdot \bar{x}_{3} \cdot \bar{x}_{5}, \qquad (7_{b})$$

$$f_3(x_j) = 1 - \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_5, \tag{7c}$$

 $f_4(x_j) = 1 - \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4, \qquad (7_d)$ $f_5(x_j) = 1 - \bar{x}_j \cdot \bar{x}_5 \qquad (7_e)$

と表わされる. 重みを, $a_1=1$, $a_2=2$, $a_3=3$, $a_4=4$, $a_5=5$ とすると, 日的関数Zは,

$$\begin{split} Z &= \sum_{i=1}^{S} a_{i} f_{i} \\ &= (1 - \bar{x}_{1} \bar{x}_{2}) + 2(1 - \bar{x}_{1} \cdot \bar{x}_{3} \cdot \bar{x}_{5}) \\ &+ 3(1 - \bar{x}_{2} \cdot \bar{x}_{5}) + 4(1 - \bar{x}_{3} \cdot \bar{x}_{4}) \\ &+ 5(1 - \bar{x}_{4} \cdot \bar{x}_{5}) \end{split} \tag{8}$$

となる

制約条件は, センサーの設置総数を, 2個 とすると

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 2$$
 (9a)
すなわち.

 $\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \bar{x}_4 + \bar{x}_5 = 3$ (9_{b}) この制約条件の下で,目的関数2を最大にす る $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_5, \bar{x}_5)$ 求めればよい.

 (9_b) を満たす全ての \bar{x}_i の組み合わせは、 $_5C_2$

=10通りある。各組合わせに対して、日的関数Zを求めた結果を表2に示す。 従って,最大のZを与える組合わせは,

 $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5) = (1, 1, 1, 0, 0)$ $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 = (0, 0, 0, 1, 1))$ すなわち 及び

 $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5) = (1, 1, 0, 1, 0)$ $f_{x_1,x_2,x_3,x_4,x_5} = (0,0,1,0,1)$

となる.

従って、3区と5区、あるいは4区と5区にセンサーを置くのが最適である.

4. 日本列島への応用

上記の理論を、日本列島における地殻変動連続観測所の最適配置問題に応用してみる。余 り繁雑になるのを避けるためと,最初は大まかな知識を得るのが良いという考えから,日本 列島全体を、2°×2°メッシュで区分けした. 地殻変動連続観測所の設置候補場所のメッシュ 総数は23個,地震生起場所のメッシュ総数は 35 個とし(図1),各メッシュに番号付けをし た。1区から23区までは、センサーを置く候補地名と地震の起こる場所名とは共通であり、

- 表2 簡単な例の場の全組み合わせとその 時の目的関数の値. $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4,$ \bar{x}_5 =1,1,1,0,0) 及び, ($\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3,$ $\bar{x}_4, \bar{x}_5 = (1,1,0,1,0)$ の時,目的関 数は最大である.
- Table 2 All the combinations and the values of the objective function for the simple example. The allocations $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5) = (1, 1, 1, 0, 0)$ and, $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5) = (1,1,0,1,1)$ give the maximum value to the objective function.

-	0
1	1
35	-

$ar{x}_{\scriptscriptstyle 1}$	$ar{x}_2$	$ar{x}_{a}$	$ar{x}_4$	$ar{x}_5$	Z
1	1	1	0	0	14
1	1	0	1	0	14
1 0		1	1	0	11
0	1	1	1	0	11
1	1	0	0	1	11
1	0	1	0	1	13
0	1	1	0	1	11
1	0	0	1	1	10
0	1	0	1	1	7
0	0	1	1	1	9



国立防災科学技術センター研究報告 第23号 1980年3月

- 図1 日本列島を 2⁰×2⁰ メッシュに区切った図. 数字はメッシュの番号を 示す.1~23区は地震生起場所及び地殻変動連続観測所配置場所であ り、24~35区は地震生起場所である.
- Fig. 1 $2^{0} \times 2^{0}$ mesh map of the Japanese islands. The numerals in the map show the mesh numbers. The numbers $1 \sim 23$ show the earthquake occuring place and also the allocation places for the continuous crustal deformation observatories. The numbers $24 \sim 35$ show only the earthquake occurring places.

24区から35区までは、地震の起こる場所である。図1には番号と地図上の位置の対応関係も示してある。

本来ならば、各メッシュ毎にサイスミシティの予測を行なわなければならないけれども、 その問題は、また一つの大きな問題であるから、敢えて考えないことにする.ここでは、単 純に、過去に起こった地震の傾向が、将来にも引き続いて現われると考えて、計算を進め た.別の言い方をするならば、過去のある時点に観測所を設置する場合、どのような配置が 最適であったかを計算するということである.ここではマグニチュードが7の地震に対して 計算を行なった.従って、計算結果は、マグニチュードが7の地域に対する最適配置であ る、地震のデータは、気象庁のカタログ(気象庁、1958;1966;1968)から取った.使った 地震の マグニチュードの 範囲は、 6.6 か ら 7.5、深さは、60km 以浅、期間は、 1926 年 から1967年までとした. これらを全てマグニ チュード7 の地震と仮定し、各メッシュの中 央の場所(奇数緯度、奇数経度)で起こると した.各メッシュ毎に上記の条件を満足する 地震の数を数え上げて、それを各地震生起場 所に対する重み、とした.実際の計算におい ては、重み a_i の値は整数とするために100倍 している.各 a_i の値は、表3に示す通りで ある.

マグニチュードが7に対応する断層モデル のパラメータとして小向・石井(1978)の Table 1 に出ている値を採用した. 震央は, 断層の中心を通る鉛直上にあるとし, 断層の 走向は,全て南北方向で dip angle が 45° の dip-slip 型とした. このような断層によって

- 表 3 日本列島への応用の場合の地震生起 場所に対する重み ai の値. マグニ チュード 6.6~7.5 の地震に対する 値. 番号は図1を参照のこと.
- Table 3Weights a_i of the earthquake
occurring places in the applicat-
ion to the Japanese islands. These
values correspond to the earth
quakes of Magnitudes $6.6 \sim 7.5$.
Refer to Fig. 1 for the numbers
in this table.

表 3

i	a_i	i	a_i	i	a_i	i	a_i
1	0	11	1425	21	500	31	0
2	0	12	0	22	100	32	0
3	100	13	0	23	200	33	0
4	500	14	300	24	100	34	0
5	250	15	150	25	1100	35	100
6	50	16	100	26	300		
7	300	17	500	27	875		
8	75	18	0	28	150		
9	250	19	0	29	725		
10	200	20	200	30	50		

生じる歪及び傾斜を計算するのには、Mansinha and Smylie (1971)の式及び山崎 (1975) の式を用いた。それぞれのセンサー設置場所と地震生起場所との相対的位置関係に応じて、 センサー設置場所に生ずる歪と 傾斜を 計算する。そのうち一つの成分でも、大きさが1× 10⁻⁸ (センサーの検知限界)を超える場合には、検知可能であるとして検知行列を作った。 表4はこの検知行列を示す。行は地震生起場所、列はセンサー配置場所を示す。

検知行列が求まれば、上記理論に従って、目的関数は直ちに定式化される. その結果は次 のようになる、

$$\begin{split} Z = &850(1-\bar{x}_3\cdot\bar{x}_4\cdot\bar{x}_5) + 1450(1-\bar{x}_6) \\ &+ 1250(1-\bar{x}_7\cdot\bar{x}_8) + 250(1-\bar{x}_9\cdot\bar{x}_{10}) \\ &+ 200(1-\bar{x}_9\cdot\bar{x}_{10}\cdot\bar{x}_{11}) \\ &+ 1425(1-\bar{x}_{10}\cdot\bar{x}_{11}) \\ &+ 300(1-\bar{x}_{13}\cdot\bar{x}_{14}\cdot\bar{x}_{15}) \\ &+ 150(1-\bar{x}_{14}\cdot\bar{x}_{15}\cdot\bar{x}_{16}) \\ &+ 100(1-\bar{x}_{15}\cdot\bar{x}_{16}\cdot\bar{x}_{17}) \\ &+ 500(1-\bar{x}_{16}\cdot\bar{x}_{17}) \\ &+ 200(1-\bar{x}_{19}\cdot\bar{x}_{20}\cdot\bar{x}_{21}) \\ &+ 500(1-\bar{x}_{20}\cdot\bar{x}_{21}\cdot\bar{x}_{22}) \end{split}$$

— 53 —

国立防災科学技術センター研究報告 第23号 1980年3月

表4 日本列島への応用の場合の検知行列.

行は地震生起場所,列は地殻変動連続観測所配置場所を示す.もし, *i*という場所に生起した地震が,*i*という場所に置かれた観測所によ って検知されるならば,行列の(*i*, *j*)成分は1,検知されなけれ ば,0である.

Table 4 Detection matrix in the application to the Japanese islands. The columns represent the earthquake occurring places, and the rows represent the allocation places for the continuous ctustal deformation observatories. If the earthquake occurring in i place can be detected by the observatory (set) in j place, (i, j) element of the matrix is one, otherwise zero.

25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	14	20	21	22	<i>~</i> 3
1	1	1	C	0	ç	Ð	G	0	0	0	~0	0	0	0	ţ)	n	C	G	0	C	0	· 0 · '	0
2.	1	1	0	0	()	0	0.	0	0	Ο,	Ģ	0	.0.	0.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0_	0	0.	0	0	Ο.	0	0.	0	0	C	0	0	0	0		0
4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Q	0	0	0	0	0	0	. 0 .	. 0		0
5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1.	Ο.	0	0	0	. C	0.,	, Q .	. 0	0	. 0	.0.	0	0	0	0	. 0	0
7	Ø _	0.	0	0	0	0	1	. 1	0.	0	Ç	0.		.0	0	0	. 0	0	0	0	0		0 :
8	0	0	0	0	0	0	.i	.1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0
٩	0	0	0	0	0	. o	0		.1	1	0	.0	0	0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0.	0	0.	0	1	1.	1	0		0	0	0	. 0	0	0	0	0	0	0
11	Ċ,	0	0	Q	0	.0.	0.	.9	0 .	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0.	0	ò	.0	0	٥.	0	1	1	.0	0	.0.		0	0_	0	0	0	0
13	O	0	0.	0	0	Ο.	0	Q	0	0	0	1	1	1	0_	0.	0	.0	0	0	0		0
14	0	0	0.	0	0	0	. 0	0	0	0	0	0	.1 .,	.1	.1	0	0	0	Ó	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	Ci	0	0	. 0	0		ò
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ũ	0	0	0	1	.1	1	0	0.	0	0	0	0
17	۵.	0	0	0.	tı	.0	0.	0	.0	0		0	. <u>0</u>	0	. 0	. 1	.1	0	. 0	0			0
18	0	0	0	0	0	0	0	٥.	0	0	0	0	0	0	0	0.	0	, 1	1	0	0	0	0
19	0	Ο.	0	Ο.	ò	0	.0	0	. º	0	<u></u> .	. 0 .		0	0	0	9	1	.1.	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	<u>0</u>	0	0	0	0	0.	0	0	_0,		0	. 0	0.	- 1 -	1	1	. 0	0
2	0	0	0	0	0	0	() -	.0 -	0	. 0	0	Ū.	.0	0	. 0 .	. 0	0 0	0	0	. 1	1.	1 :	0
22	0	0	٥.	.0.	0.	0	0	0	. 0	0	. 0	0	0	. 0	. <u>0</u>	0	· ⁰ ·	0	0	0	1	1	.0
23	٥.	0	Ο.	. 0 .	.0	.0	Q.	0	. [•] 0	0	_0	0	0	0	0	<u>0</u>	0_	0	0	0	. 0	0	1
24	0	0	0	1	.1	<u>0</u>	0	0	0.	0	0	0,	C	0		<u>.</u> ?.	о <u>-</u> .	0.		. 0	. 0.		
25	0	0_	٥٠	0	0	1 .	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
26	0	0	0	0	0	1.	Q .	0	, <mark>0</mark> ,	0	0	. 0	0	0	0		<u> </u>	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	G	C	0	1	1.	0	0	. 0	Ó	<u>0</u>	0	0	0	0	0	0	. Q	.0.	0	
28	0	0	0	0	G	Û	0	. 1 .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.	0	. 0.	. 0		0
29	0	0	0	0.	(-	0	ii O	n	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	. 0	0	0
21	0	0	0	0	- X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			0	0
21 21	o ·	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	n	0	0	0	0	0		0	0	1	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	, O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	. 0	. 0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	o O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	. 0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	n	0	0	, J	0	1
35	<i>V</i>	v	V	5.MC	10	<i>M</i> .	.w.:			M	5M.S	U	1.04	52	2	×.	1.91			V	w.		10°0 #1



図 2 日本周辺で発生した地震の震央分布(1926年~1967年). ただし, 6.6 ≤K≤7.5, 深さh≤60km のもの(気象庁のデータによる).

Fig. 2 Epicenters of earthquakes (6.6≤M≤7.5, h≤60km) in and around Japan during 1926-1967. (JMA, 1958, 1966, 1968).

 $\begin{array}{l} + \ 100(1 - \bar{x}_{21} \cdot \bar{x}_{22}) \\ + \ 200(1 - \bar{x}_{23}) \\ + \ 100(1 - \bar{x}_4 \cdot \bar{x}_5) \\ + \ 150(1 - \bar{x}_8) \\ + \ 725(1 - \bar{x}_{11}) \\ + \ 100(1 - \bar{x}_{23}) \end{array}$ (10)

制約条件は,設置しようとする地殻変動連続観測所の数を,Lとすると,

$$\sum_{j=1}^{r_{23}} x_j = L$$
 (11)

 \bar{x}_j を使って書き直すと

$$\sum_{j=1}^{23} \bar{x}_j = 23 - L \tag{11'}$$

L=1から*L*=7 まで,*L*を変えた時の最適 配置の計算結果を表5に示す。

ここでは 23CL 通りの全ての組み合わせに 対して,目的関数を計算する方法をとった (陽的全組み合わせ列挙法).その時,目的 関数が最大となる組み合わせを求めることに よって,最適配置が決定される.

例えば、L=4 すなわち、4個所に配置す る時の最適配置は、5区、6区、8区、11 区、あるいは、4区、6区、8区、11区とな る.大まかな地名で言えば、北海道中部また は東部、東北北部、東北中東部、東北南西あ るいは関東北東部に地殻変動連続観測所を設 置するのが最適である.

議 論

この報告では最適化基準として、少なくと も1個所の地殻変動連続観測所に検知される 地震の数(同じ地震はただ1回だけ数える) が最大という基準を採用した.この基準をA という記号で表わそう.

しかし,別の基準を採用してもよいし,複 数の基準を幾つか,組み合わせたものを採用 してもかまわない. どのような最適化基準を 選ぶかは,意思決定者に大きく依存するもの である.

- 表 5 日本列島への応用の場合の地殻変動 連続測所の最適配置. Lは地殻変動 連続観測所の総数. 区の番号に対応 する地図上の位置は図1に示されて いる.
- Table 5The optimum allocations of the
continuous crustal deformation
observatories in the application
to the Japanese islands. L denotes
the number of the continuous
crustal deformation observatories.
The places in the map correspon-
ding to the numbers in the table
are shown in Fig. 1.

表 5

L	区名						
1	11						
2	6,	11					
3	6,	8,	11				
4	5,	6,	8,	11			
	4,	6,	8,	11			
5	5,	6,	8,	11,	21		
	4,	6,	8,	11,	21		
6	5,	6,	8,	11,	16,	21	
	4,	6,	8,	11,	16,	21	
7	5,	6,	8,	11,	16,	21,	23
	4,	6,	8,	11,	16,	21,	23
	5,	6,	8,	11,	15,	17,	21
	4,	6,	8,	11,	15,	17,	21
	5,	6,	8,	11,	14,	17,	21
	4,	6,	8,	11,	14,	17,	21
	5,	6,	8,	11,	15,	16,	21
	4,	6,	8,	11,	15,	16,	21
	5,	6,	8,	11,	14,	16,	21
	4,	6,	8,	11,	14,	16,	21
	5,	6,	8,	11,	13,	16,	21
	4,	9,	8,	11,	13,	16,	21

Aという基準の他に,次のような最適化基準が考えられる.

- B) 少なくとも、同時に、2個所の地殻変動連続観測所で検知される地震の数を最大にする.
- C)少なくとも,同時に,3個所の地殻変動連続観測所で検知される地震の数を最大にする.
- D) 検知可能面積を最大にする.
- E)少なくとも1個所の地殻変動連続観測所で検知される地震の個数が最大で、しかも、

そのうち2個所で検知される地震の個数を最大にする. AとBとの組み合わせ. その他, BとD, CとDとの組み合わせも考えられる.

ここで採用した基準Aは、定式化が容易であり、0-1 型変数は各地殻変動連続観測所の設 置候補地に対して、1個で済むという計算上の利点をもっている。日本列島への応用に際し ては、決定変数の数は23個であった。検知した異常の信頼性を高めることに重点を置こうと するならば、B-基準、あるいは、C-基準などを採用するのが良いだろう。

もう一つ最適配置の決定に大きく影響を与えるものとして,各地震発生地域に与える重み の問題がある. これは結局,各地域における seismicity の予測という 重大かつ困難な問題 に帰着する. seismicity の予測に関しては様々な議論がある. 統計学的及び確率論的な方法 (Kagan & Knopoff, 1977),活断層などによる地質学的方法(松田, 1976; Anderson, 1979), プレートテフトニクスによる方法 (Molnar, 1979),ウィナーフィルターによる方法 (石川 と宮武, 1978) などがある. その中で,ウィナーフィルターを使って,将来の seismicity の予測を行うことは,有望な方法であろう. あるいは種々の方法で予測を行ない,それぞれ の予測に対して最適配置を計算し,最終的な配置を決定するというやり方もあるだろう. こ の報告では,過去にどのように配置するのかが最適であったかを計算せざるを得なかった しかし,ここで得られた結果でも,大体の傾向は示していると思われる.

実際の計算では日本列島に対して、 $2^{\circ} \times 2^{\circ} \times y \rightarrow z$ という粗い区分けをしたけれども、も う少し細かく、 $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times y \rightarrow z$ 程度に区分けする方が良いだろう。その時には、メッシュの 総数(すなわち決定変数の数)は約60個になる。ここで使用した計算プログラムでは、一つ の組み合わせに対して約 1msec の計算時間が必要である(ACOS-600)。仮に、5 個所地殻 変動連続観測所を設置しようという時には、組み合わせの総数は、

 $_{60}C_5 \approx 6.5 \times 10^6$

となる.従って計算時間は,

 $6.5 \times 10^6 \times 10^{-3} = 6.5 \times 10^3 \text{sec} \approx 2 \text{hr}$

これは十分計算可能な時間である.しかし、もし10個所設置しようとする時には、組み合わせの総数は

 $_{60}C_{10}\approx 6\times 10^{10}$,

計算時間は,

 $6 \times 10^{10} \times 10^{-3} = 6 \times 10^{7} \text{sec} \approx 3 \text{years}$

となり,これは事実上不可能なほど,長い時間である.こうような場合,陽的全組み合わせ 列挙法は実際上使えなくなる.

整数計画法は現在発展中の分野であり、このような整数型最適化問題を効率良く解くアル ゴリズムも、幾つか考え出されてきているけれども、大規模な問題(変数の数が 1000 個程 度)を解くのはまだ難しい段階である.現在のところ、0-1 計画法の問題を解くのに最も効

- 57 -

率が良いとされているのは、Implicit Enumeration 法陰的列挙法と代理制約とを組み合わ せた方法であろう (Balas, 1965; Balas, 1967; Glover, 1965; Geoffrion, 1969). 代理制約 というのは,幾つかの制約条件を組み合わせて作った,一つの条件である.適当な正の重み をそれぞれの制約条件に掛けて加えると一つの新しい制約条件が得られる.この中で最も苛 酷な(最も満たされにくい)条件を作りあげ,それを新たに制約条件に付け加えて Implicit Enumeration 法を適用すれば,計算効率が改善されることが,実験的にも分かっている. この方法を用いれば,変数の数が100程度なら,可能な時間範囲内で計算は終了するだろう.

計算の便宜のためマグニチュード7の地震を対象に計算を行なったが、実用的には、ある 規模以上たとえばマグニチュード7以上の地震を全て対象にすべきであろう.また、余震を も含めた統計になっているので大きな地震の発生した場所にウェイトを置いたことになって いる.これらの諸点を考慮した計算は将来の課題である.

謝 辞

この問題を勧めて下すった浜田和郎博士,原稿を読んで助言をいただいた藤縄幸雄博士, 及びプログラムの一部を借用させていただきました石田瑞穂博士に感謝致します.

参考文献

- Anderson J. G. (1979): Estimating the seismicity from geological structure for seismicrisk studies. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 69, 135–158.
- Balas, E. (1965): An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables. Opns. Res., 13, 517-546.
- 3) Balas, E. (1967): Descrete programming by the filter method. Opns. Res., 5, 915-957.
- Geoffrion, A. M. (1969): An improved implicit enumeration approach for integer programming. Opns. Res., 17, 437-454.
- 5) Glover, F. (1965): A multiphase-dual algorithm for the zero-one ingeter programming problem. *Opns. Res.*, **6**, 879-919.
- 石川有三,宮武隆(1978): ウィルナーフィルターの適用による地殻変動・地震活動データの予測の試み、地震,31,73-86.
- Kagan, Y. and L. Knopoff (1977): Earthquake risk Prediction as a stochastic process. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 14, 97-108.
- 8) 気象庁(1958): 日本付近の主要地震の表(1929~1959). 地震月報別冊1.
- 9) 気象庁(1966): 日本付近の主要地震の表(1957~1962). 地震月報別冊2.
- 10) 気象庁(1968): 日本付近の主要地震の表(1963~1967). 地震月報別冊3.
- 小向洋一郎,石井紘(1978):東北大学における地震地殻変動の検知能力について;(II)地殻変動.
 地震,31,445-455.
- Mansinha, L. and Smilie, D. E. (1971): The displacement fields of inclined faults. Bull. Seismol. Soc. Am., 61, 1433-1440.
- 13) 松田時彦(1976): 活断層と地震予知. 地震予知研究シンポジウム, 194-202.
- 14) Molnar, P. (1979): Earthquake recurrence intervals and tectonics. Bull. Seismol. Soc.

Am., 69, 115-133.

- 15) Shimazaki, K. (1972): Where should we set up a new crustal deformation obserbatory in Japan? *Tectonophysics.*, 15, 255-261.
- 16) 山崎謙介(1975): 傾いた断層による地表での永久歪みと傾斜. 地震, 第2 輯, 28, 215-217.

(1979年12月20日 原稿受理)

付 録

陽的全組み合わせ列挙法による最適配置決定の FORTRAN ブログラム, 及び検知行列を求める FŌRTRAN ブログラム.

付録 1

1	C C	SYSTEMATIC EXHAUSTIVE ENUMERATION FOR COMMUTATION NUMBER
3		DIMENSION IX(100) . 1 1X(100)
4		N = 2 3
5		120=999999
7		10 9999 11-1 <i>21</i>
8		WRITE(6,6000) LO
9	6000	FORMAT(1H1.//.IS)
10		I = N - LO
12		
13		
14	100	TX(I)=1
15		DO 101 I=L1,N
16	101	IX(I)=0
18	10	
19	10	DO 110 K#1.N1
20		110=IX(K)+10+IX(K+1)
21		IF(110.NE.10) GO TO 110
22		IX (K) = 0
24		X(K+1)=1 E(K E 2) co TO 1000
25		IA=IX(K-1)
26		IF(IA.EQ.0) GO TO 1000
27		k 1 = K - 1
28		00 200 J=2+K1
30		TE(TB.E0.1) 60 TO 200
31		Ja≉J=1
32		DO 300 J1=1, JA
33	-	. J = K = J + J 1
34	50 0	1X(JJ)=0
36	310	1X(J2)=1
37		GO TO 1000
38	200	CONTINUE
59		GO TO 1000
40	110	
42	1000	CONTINUE
43	12 BUC 81585	1Z = IX(4) * IX(5) * (850 * IX(3) + 100) + 1450 * IX(6) + 1250 * IX(7) * IX(8)
44	1	+IX(9)+IX(10)+(250+200+IX(11))+1425+IX(10)+IX(11)
45	4	<pre>/ +IX(14)*IX(15)*(300*IX(13)*150*IX(16)) ///////////////////////////////////</pre>
47	4	+IX(20)+IX(21)+(200+TX(10)+500+TV(22))
48	5	+100+1x(21)+1x(22)+300+1x(23)+150+1x(8)+725+1x(11)
49		IF(12.GT.120) GO TO 10
50		120=12
52		121=8550-120 NO 500 K-1-N
53		IF(IX(K), FQ, 0) GD TO 50
54		11x(K)=0
55	2.8	GO TO 500
50	50	IX(K)=K
58	200	URITE(6.6100)(171.711)(K) = x = 1.400
59	6100	FORMAT(1H0,2015)
60		GO TO 10
61	9999	CONTINUE
63		STOP
		E della

付録 2--(1)

1	СC	DITECTION MATRIX FOR PTIMIZATION
Z		COMMON/COMFLW/FL,FW,D1,D2,HD,US,X,Y,C,S,C2,SC,SC2,SC3
3		COMMON/COMTIL/011.012.021.022.031.032
4		514ENS104 Sp(100.2). F(10(.2). IEN(100.1(0))
5		SIMENSION 16(100-100)-16(100)
6		b = b + b + (5 + 5) b + (1 + 3) +
7	5000	
5	2000	$\frac{1}{10000000000000000000000000000000000$
0		READ(5)(5)(00)(5)(1)(1)(5)(1)(2)(1=1)(4)
4	2101	EDRMATCIDEO.2)
10		PEAD(5)5100)(E(1,1),E(1,2),I=1,0)
11		READ(5.5005) DEG.FL.Fx.UT.IS
12	3005	FOFMAT(SFI0.4)
15		SE=1.0F-08
14		PA1=3.14159265358979
15		P=PAI/180.0
16		TH=DEG*P
17		S=SIN(TH)
18		c=cos(1H)
19		b1=30.0/S+FW/2.0
20		D 2 = D 1 - F W
21		WRITE(6,6000)
22	6000	FOPMAT(1H1.8X,3HDEG,8X,2+FL.8X,2+FM,8X,2HD1.8X,2HD2.8X,2HUD,
23		1 8x,2HUS)
24		URITE(6,6100) DEG.FL.FW.01,02.UD.US
25	6100	FORMA1(5X,7F10,4)
26		URITE(6,6950)
27	6950	FORMAT(1H0,5X,1HX,9X,1HY,9X,3HU11,12X,3HU12,12X,3HU21,
28	1	12x,3HU22,12x,3HU31,12x,3HU32)
29		r2=C*+2
30		c2=5*+2
31		
32		
32		
31		
75		
33		
30		
31		
30		$F = [1 = E(X_0 Z) = P$
39		$F_{12} = SP(J_{22}) * P$
40		X = (THZ-THI) = R
41		YA = COS(TH2) * COS(TH2) * COS(TTT-TT2) + STN(TH2) * STN(TH2)
42		AA = ACOS(YA)
43		Y 1 = ABS(R + AA)
44		IF(FI1-FI2) 10,11,12
45	1 0	Y = -Y1 + 30 = 0 + C/S
46	11	Y=30.0*C/S
47	12	Y=Y1+30_0+C/S
48		CALL STILTF
49		AU31=ARS(U31)
50		AU32=ARS(132)
51		AU11=ARS(U11)
52		AUZZ=ABS(UZZ)
53		IF (AU31.GE.SE) GO TO 20
54		IF (AU32.GE.SE) GO TO 20
55		IF (AU11, GE.SE) GO TO ZO
56		1F(AU22.GE.SE) GO TO 20

付録一(2)	
57		IDM(J,K)=0
58		GO TO 200
59	2 1	IDM (J / K) = 1
60	7000	WRITE(0,7000)X,T,011,012,021,022,031,032
62	200	CONTINUE
63	2 U U	QRITE(6.6110) K
64	6110	FORMAT(1H0,13)
65	82 0.02 H	DO 150 1=1.N
66		IF(IDM(I.K).EQ.1) GO TO 40
67	670 T. 242	GO TO 150
68	40	WRITE(6,6200) I
67	6200	FORMATCHURIDIS
70	150	CONTINUE
72	1.0.0	UPITE(6.6500)((IDM(1.4K).J=1.4N).K=1.4M)
73	6500	FORMAT(1H0,2314)
74	0101	L=5
75	<i>U.</i>	w1=2*M+1
76		DO 300 I=1.M1
77	0.000	1GC(1)=0
78	300	CONTINUE
19		16C(I)=L=N
81		10(1.1) = 1
82	101	CONTINUE
83		no 110 J=1.M
84		IG(1 + J + N) = 0
85	110	CONTINUE
86		1 1 = N + M
87		no 120 K#1.M
88		v1=2*K
89		10 130 [=1/N] 10(K1-1)=0
91		16(K1+1-1)=0
92	130	CONTINUE
93	120	CONTINUE
94		NO 140 K=1.M
95		161=0
96		r2=2*K
97		10 151 J=1+N
98		
100	15	
101	1.2	$16(K^2, J) = -1$
102		1G(K2+1,J)=1
103	21	1G1=IDM(J,K)+IG1
104	151	CONTINUE
105		IF(1G1.LE.0) GO TO 140
106		IGC(K2)=IG1=1
107		16/22.NV)=1
100		10(K2+1, NK) = -101
110	140	CONTINUE
111	1.4	<pre>%RITE(6,2000)(IGC(K),(IG(K,J),J=1,N1),K=1,M1)</pre>
112	2000	FORMAT(1H0,2014)
113		PUNCH 1000/(IGC(K),(IG(K,J),J=1,N1),K=1,M1)
114	1008	FORMAT(2014)
115		STOP
116		END

付録(1)	
•	
2	COMMON/COMPLE/FL D1 D2-UD-US-V-V C S F2 C7 CC CC7 FC7
3	COMMON/COMTLL/U11-U12-U21-U22-U31-U32
4	DIMENSION XS(4), DS(4), 110(4), U12D(4), U21D(4), U22D(4), U31D(4),
5	1 U32D(4), U11S(4), U12S(4), U21S(4), U22S(4), U31S(4), U32S(4)
6	REAL K
7	PA112=3.14159265358979*12.0
8	x S (1) = FL
9	x 5 (2) = - F L
11	
12	
13	DS(2) = D1
14	$p_{S}(3) = D_{2}$
15	ns(4)=D2
16	DO 300 I=1,4
17	x A = x S (I)
18	D = D S (I)
19	YA=D+C
21	
22	YYA=Y-YA
23	XXA2=XXA++2
24	YYA2=YYA**2
25	ZA2=ZA**2
26	R2=XXA2+YYA2+ZA2
27	R=SQRT(R2)
28	R3=R*R2
30	RKETAS
31	PP2=PD++7
32	RD=RR=D
33	RD2=RD**2
34	RXA=R+XXA
35	RRD=R+RD
36	RMRD=R-RD
37	
10	H=SWRT(KK2+KU2)
40	P762=R76*R76
41	RXA2=RXA*RXA
42	RRD2=RRD*RRD
43	RMRDZ=RMRD+RMRD
44	CC=((H+ZA)+(R+H))++2+(XXA+YYA)++2
45	B1=(R+H)*(RR*S+RD+C)/H
40	B2=(H+ZA)+(YYA/R+(RR+S+RD+C)/H)
47	$E_{1} = Y X A + ((U + 7A) + (D + U) = Y Y A + (D + D 2)) / CC$
49	$\Delta A = (X X A + R D + C) + + 2 + (R D + K + S = (K - R R + C) + (R - K)) + + 2$
50	F1=RD+C+(XXA2+(RD+S-R+K-(K-RR+C)+(K/R-1,0))/K
51	1 -RD+K+S+(K-RR+C)+(R-K))/AA
52	F2=XXA*RD+C+(K+C+S+(RD+RH+S2-(RR-K+C)+(R-K)+S
53	1 - (K-RR * C) * (K * YYA-RR * R * S) / R) / K
54	1 + C + ((K - R R + C) + (R - K) / R D - K + S)) / A A
56	RB#(KR*R)**2+(XXA*RD)**2
0	61=KK#KD#(K=XXAC/K)/88

付録一(2)

57	G2=XXA*(RR*R*C-RD*(RP*YYA/R+R*S))/BB	
58	1110(1) = 3.0 + XXA + (YYA + S + (1.0/RZA2 - 2.0/R2)	
50	1 = (+(1, 0/PZA+2, 0+ZA/PZ) + (1, 0/RZA-S/RMRD)/C)/R	
60	1120(1)=3 0+(S+(2 0/R=1 0/PZA)+YYA+(YYA+S+(1 0/RZA2=2.0/RZ)	5
4.1		20
01		
02	1/2 $1/2$	
65	1 -2.0*YYA2*(XXA*(P+RXA)+R2)/(R3*RXA2))	
64	2 -3.0*C*(2.0*YYA*ZA*(XXA*(R+RXA)+R2)/(R5*RXAZ)	
65	3 +2.0*E1-3.0*G1)+6.0*F1/C	
66	122D(1)=3.0+YYA+S+(-XXA/(R+RZAZ)	
67	1 +2.0*(2.0*R2*RXA=YYA2*(R+RXA))/(R3*RXA2))	
68	2 = 3 - 0 + C + (-2 - 0 + ZA + (R2 + RXA - YYA2 + (R + RXA)) / (R3 + RXA2)	
60	3 +2 0+52=5 0+62)+6 0+52/6	
70	(1) + (1) + (2)	
74		
11	$ \begin{bmatrix} -2 & 0 + c + 7 \\ 0 & -2 & 0 + c + 7 \\ 0 & -2 & -7 \\ 0 & -7 & -7 \\ 0$	
12	0.320(1) = 3.04(5+(2.0+2A+(1+A2+(R+RAA)-R2+RAA)/(R3+RAA2))	
73	$C = 2.0 \pm E2 \pm 3.0 \pm G2$	
74	C +2.0*7A2*C*YYA*(R+RXA)/(R3*RXA2))	
75	U11S(I)=(2.0*RR*((R2*RFD-XXA2*(R+RRD))/RRD2	
76	C -2.0*(R2*RMPD-XXA2*(R+RMRD))/RMRD2)/R2	
77	C = 3_0*SC*(R*FZA=XXA2)/RZA2)/R+6.0*(G1=SC2*F1)	
78	112S(1)=(2.0*XXA*((R2*PRD*S-RR*(YYA*(R+RRD)+R2*C))/RRD2	
79	C = 2.0*(R2*RMRD*S=RR*(YYA*(R*RMRD)=R2*C))/RMRD2)/R2	
80	C +3 0+XX4+XX4+SC/242)/P+6 0+(G2-SC2+E2)	
81	1215(1) = XXA + (S + (3 + S) (P7A + C2) = 1 + 0 / PPD = (1 + 0 + 3 + 0 + SC2) / PMPD	
82	0+0=2+((0++0=0)/(0=02=2 0+(0=+0=0)/(0=02)/(0=2)	
92		
2		
04		
02		
00		
87	C = RR (TTA + (R+RMR) - R/T C) / RMRD C / RC / C + (R C + C + C + C) / RMRD C / RC / C + (R C + C + C + C) / RMRD C / RC / C + (R C + C + C + C) / RMRD C / R / C / R / C + (R C + C + C + C) / R / C / C + (R C + C + C) / R / C / C + (R C + C + C) / R / C / C + (R C + C + C) / R / C / C + (R C + C + C) / R / C / C + (R C + C) / C / C + (R C + C) / R / C / C / C + (R C + C) / R / C / C / C / C / C / C / C / C / C	
88	$\mathbf{U} = \mathbf{R} \mathbf{R} \mathbf{T} \mathbf{T} \mathbf{A} \mathbf{J} \mathbf{R} \mathbf{Z} = \mathbf{S} \mathbf{U} \mathbf{T} (\mathbf{R} \mathbf{T} \mathbf{R} \mathbf{Z} \mathbf{A} \mathbf{C} \mathbf{T} \mathbf{T} \mathbf{A} \mathbf{C} \mathbf{J} \mathbf{J} \mathbf{R} \mathbf{C} \mathbf{A} \mathbf{C} \mathbf{J} \mathbf{J} \mathbf{R}$	
89	USIS(I)=XXA*(C*(1.0/RRD+(1.0+3.0*SC2)/RMRD-3.0*S/(RZA*C2))	
90	C = RR * (6.0 * S = 2.0 * PR * (F + FRD)/RRD2	
91	$C +4.0*RRR*S*(R*RMRD)/R^MRD2)/R2)/R$	
92	U32S(I)=(C*((YYA+R*C)/PRD+(1.0+3.0*SC2)*(YYA-R*C)/RMRD	
93	C -3.0*YYA*S/(RZA*C2))+(6.0*S*(RZ*S=RF*YYA)	
94	C = 2.0 + R R + C + (2.0 + R 2 + R P D + S - R R + (YYA + (R + R R D) + R 2 + C))/R R D 2	
95	C +4.0*RR*S*(2.0*R2*RMR0*C-RRR*(YYA*(R+RMRD)-R2*C))/RMRD2)
96	C /R2)/R	
97	300 CONTINUE	
98	(11) = ((11) + (1) + (11) + (2) + ((11) + (3) + (11) + (4)) + (11) + (
99	c + (1115(1) - 1115(2) - 1115(3) + 1115(4)) + 15) / PAT12	
100	112 = ((1120(1) - (120(2) - (120(3) + (120(4)) + (100(4))))	
101	c + (112S(1) - 112S(2) - 112S(3) + 112S(4)) + 11S) / PAT12	
102		
102		
103		
104		
105		
106	0.51 = ((0.510(51) - 0.510(2) - 0.510(5) + 0.510(4)) = 0.000	
107	C + (US1S(1)-US1S(2)-US1S(3)+US1S(4))+US)/PA[12	
108	$u_32 = ((u_32p(1) - u_32p(2) - u_32p(3) + u_32p(4)) + u_p$	
109	c + (u32s(1)-u32s(2)-u32s(3)+u32s(4))+us)/PA112	
110	RETURN	
111	END	