

スペクトル解析のための フォートラン・プログラム*

増山英太郎

1. はじめに

スペクトル解析は、動作の解析のみならず脳波、筋電図をはじめとする心理学における時系列データの解析にとっても非常に重要であるにもかかわらず、従来の心理学関係の統計書ではほとんど解説が行なわれていない。その理由は、それに要する計算のための労力が、そこから得られる結果と比べてあまりにも大きく、解説を行なった本が出版されても、実際にその計算を行なう人がほとんどないであろうとの予想からであろう。ところが、事情は最近になってだいぶ変化してきた。何故なら、大型のコンピュータが出まわり、計算そのものに要する時間が、以前とは比べものにならないほど小さくなったからである。極言すれば、これからは、プログラムさえ開発されれば、どんな計算でも出来るようになるだろう。

以上のような気持ちから、本稿では、筆者が作成したコレログラムから、伝達関数とコヒーレンシを計算するためのフォートラン・プログラムを、フロー・チャートにそって解説する。図1のフロー・チャート参照のこと。

2. 計算の内容

データとしては、増山(1966)を用いた。即ち、人間のみからなる系によ

* 本研究は文部省昭和43年度科学研究費(一般研究c)によって行なった。内容の概略は、日本機械学会内人間機械系研究会第5回研究会及び北海道東北心理学会第1回合同大会において発表した。詳細は増山(1969-a, 1969-b)を参照のこと。なお、本論文のフロー・チャート作成に際しての本学戸島・清水川両助教授のご助力に対して、感謝を申し上げます。

るランダム波目標量の Pursuit Tracking によって得られる入力及び出力から、増山 (1968) のフォートラン・プログラムによって、入力の自己共分散関数 $C1(I)$ 、出力の自己共分散関数 $C2(I)$ 及び入力と出力の相互共分散関数 $C4(I)$ を計算したものとするとする。但し、コレログラムの lag の最大値は 83 で相互共分散関数の絶対値が最大となる I のことを $J1$ と表わすものとする。

計算の式は赤池 (1964, 1967) に従っているので、計算経過を表わす番号 (C-4, C-5 等) もそれに従うこととする。

計算内容の主要部分は以下の通りである；

C-4 $K=1, 2, \dots, N$ について

$$P1(K) = C1(1) + 2.0 * \sum_{I=2}^{N-1} C1(I) * \cos \left\{ \frac{\pi * (K-1) * (I-1)}{N-1} \right\} \\ + C1(N) * \cos \{ \pi * (K-1) \}$$

を計算する。

C-7 0.2434, 0.5132, 0.2434 なる係数を用いて $P1$ を平滑化する。即ち、 $K=1, 2, \dots, N$ について

$$PP1(K) = 0.2434 * P1(K-1) + 0.5132 * P1(K) \\ + 0.2434 * P1(K+1)$$

を計算する。但し、 $P1(1-K) = P1(1+K)$ 、 $P1(N+K) = P1(N-K)$ 。従って、 K が 2 から M までは上記の如く三項の和の式になるが、 K が 1 については；

$$PP1(1) = 0.5132 * P1(1) + 0.4868 * P1(2)$$

K が N については

$$PP1(N) = 0.4868 * P1(N-1) + 0.5132 * P(N)$$

以上で入力の自己共分散 $C1$ からそのパワ・スペクトル $PP1$ が計算出来たので、検算を行なう；

$$\text{検算 } 2.0 * (N-1) * C1(1) = 2.0 * \sum_{K=1}^N P1(K) - P1(N) - P1(1)$$

$$=2.0*\sum_{K=1}^N PP1(K)-PP1(N)-PP1(1)$$

この計算の左辺, 右辺最初の式, 右辺第2の式を別々に計算し, 等しくなるか調べる。

C—5 C—4の計算を, C1をC2に, P1をP2に変換して行なう。

C—8 C—7の計算を, P1をP2に, PP1をPP2に変換して行なう。

検算 検算を, C1をC2に, P1をP2に, PP1をPP2に変換して行なう。

C—6 $K=1, 2, \dots, N$ について,

$$WP1(K) = \{C4(J1+K-1) + C4(J1-K+1)\} / 2.0$$

から

$$P4(K) = WP1(1) + 2.0 * \sum_{I=2}^{N-1} WP1(I) * \cos\left\{\frac{\pi * (K-1) * (I-1)}{N-1}\right\} \\ + WP1(N) * \cos\{\pi * (K-1)\}$$

を求め

$$WM1(K) = \{C4(J1+K-1) - C4(J1-K+1)\} / 2.0$$

から

$$S4(K) = -2.0 * \sum_{I=2}^{N-1} WM1(I) * \sin\left\{\frac{\pi * (K-1) * (I-1)}{N-1}\right\}$$

を求める。

C—9 $K=1, 2, \dots, N$ について,

$$PP4(K) = 0.2434 * P4(K-1) + 0.5132 * P4(K) \\ + 0.2434 * P4(K+1)$$

を求める。但し, $P4(1-K) = P4(1+K)$, $P4(N+K) = P4(N-K)$ だから

$$PP4(1) = 0.5132 * P4(1) + 0.4868 * P4(2)$$

$$PP4(N) = 0.4868 * P4(N-1) + 0.5132 * P4(N)$$

$$SS4(K) = 0.2434 * S4(K-1) + 0.5132 * S4(K) + 0.2434 * S4(K+1)$$

を求める。但し, $S4(1-K) = -S4(1+K)$, $S4(N+K) = -S4(N-K)$ だ

から, $SS4(1)=0.5132*S4(1)$, $SS4(N)=0.5132*S4(N)$

C-10 $J1$ なるずらしを行なった分だけ補正を行なうため, $K=1, 2, \dots, N$ について

$$PPP4(K) = PP4(K) * \cos\left\{\frac{\pi * (K-1) * (J1-83)}{N-1}\right\} \\ + SS4(K) * \sin\left\{\frac{\pi * (K-1) * (J1-83)}{N-1}\right\}$$

$$SSS4(K) = SS4(K) * \cos\left\{\frac{\pi * (K-1) * (J1-83)}{N-1}\right\} \\ + PP4(K) * \sin\left\{\frac{\pi * (K-1) * (J1-83)}{N-1}\right\}$$

を計算する。

検算 $2.0 * (N-1) * C4(J1) = 2.0 * \sum_{K=1}^N P4(K) - P4(N) - P4(1)$

$$= 2.0 * \sum_{K=1}^N PPP4(K) - PP4(N) - PP4(1)$$

周波数伝達関数の $GAIN(K)$, 位相 $PHZ1(K)$, コヒーレンシ $COHR(K)$ は, $K=1, 2, \dots, N$ について, 各々 C-12, C-13, C-14 の計算を行なえばよい。但し, C-13 のみは赤池(前記)が難解であるため, Robinson (1967) によった。

C-12 $GAIN(K) = \frac{\sqrt{\{PPP4(K)\}^2 + \{SSS4(K)\}^2}}{PP1(K)}$

C-13

Imaginary SSS4(K)	Real PPP4(K)	Phase PHZ1(K)
+	+	$RAD * \tan^{-1}\{SSS4(K)/PPP4(K)\}$
+	0	$RAD * \pi / 2.0$
+	-	$RAD * \tan^{-1}\{SSS4(K)/PPP4(K)\} + RAD * \pi$
0	+	} 0.0
0	0	
0	-	
-	+	$RAD * \tan^{-1}\{SSS4(K)/PPP4(K)\}$
-	0	$-RAD * \pi / 2.0$
-	-	$RAD * \tan^{-1}\{SSS4(K)/PPP4(K)\} - RAD * \pi$

$$C-14 \quad COHR(K) = GAIN(K) * \sqrt{\frac{PP1(K)}{PP2(K)}}$$

3. フロー・チャートの説明

頁数の関係で、必要最小限の説明のみを行なう；

BOX 1； $J1 \leq 83$ なら $M = J1 - 1$ ， $J1 > 83$ なら $M = 165 - J1$ ， $FIRST = 6.25$ CPS 単位での最低周波数の読み取り。

BOX 4； 図を描くために必要な記号の読み取り。

BOX 5； ここより **BOX 23** までは、入力のパワ・スペクトル計算のための処理。自己相関と記してあるが、正しくは自己共分散で、以下いずれもその意味。

BOX 9； グラフを描くサブルーチンで、以下に現れるサブルーチンは、いずれもこのためのもの。

BOX 10~14； $C-4$ の計算のための DO $LOOP$ 。

BOX 15~17； 検算

BOX 19~22； $C-7$ の計算

BOX 23； 検算

BOX 24~41； 出力のパワ・スペクトル計算のための処理で、**BOX 5~23** と本質的には同じ。即ち、 $C-5$ ， $C-8$ の計算と検算。

BOX 42~45； 入力及び出力のパワ・スペクトルの値及びそれ等の図の印刷。

BOX 46~50； 入力と出力の相互共分散の値を読み取り、そのコレログラムを描く。

BOX 51~59； $C-6$ の計算と印刷

BOX 60~62； 検算

BOX 63~67； $C-9$ の計算

BOX 68~72； $C-10$ の計算

BOX 73~74； 検算とその印刷

BOX 75~91; 相互パワ・スペクトルの振巾と位相の計算及びその値とその図の印刷。位相は C-13 の計算に従う。

BOX 92~107; 振巾比及びその db 表示及びコヒーレンシの計算を, C-12 及び C-14 式に従って行ない, 値及び各々の図の印刷を行なう。

4. お わ り に

第2節で, 入力及び出力という抽象的な言葉を用いたが, これは入力として目標量を, 出力として操作量を考えると, 閉ループの周波数伝達関数が得られ, また入力として偏差量を, 出力として操作量を考えると, 開ループ周波数伝達関数が得られるようにするためである。

今後改良していくべき点が, 4つほどあるので, それを挙げて結びにかえる;

1) 本プログラムは, コレログラムの lag が 83 という特殊なデータのためのものであるが, もっと一般性を持ったプログラムにすべきである。

2) 本プログラムでは, データはカードによって読み込まれるように作ってあるが, カードのさん孔は人力によるため, 労力を要し, 誤りを含む可能性がある。従って, コレログラムが計算された段階で MT に入れ, MT からよび出すようにすべきである。

3) 位相だけは, 赤池の計算が難解のため, Robinson に従った計算を行なっているが, 赤池の計算で一貫させるべきである。

4) いずれの図も, 角周波数を普通目盛できざんであるが, 対数目盛にすべきである。頁数の制限があるので, 計算結果は手許にあるが, 掲載はひかえ, 別の機会にゆずることとする。

参 考 文 献

- Akaike, H. "Statistical Measurement of Frequency Response Function."
Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Suppl. III. 5-17 (1964)

赤池弘次「スペクトル解析」磯部孝編「相関函数 および スペクトル」東大出版の
28～46. (1968)

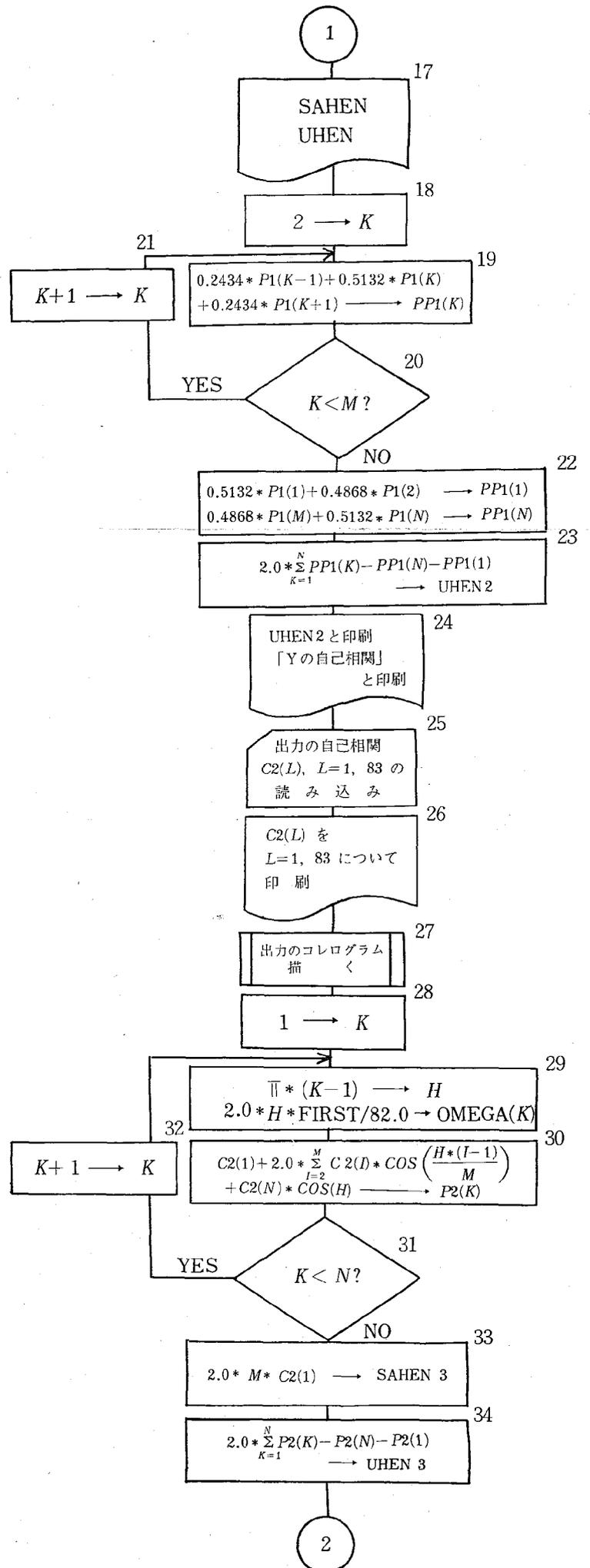
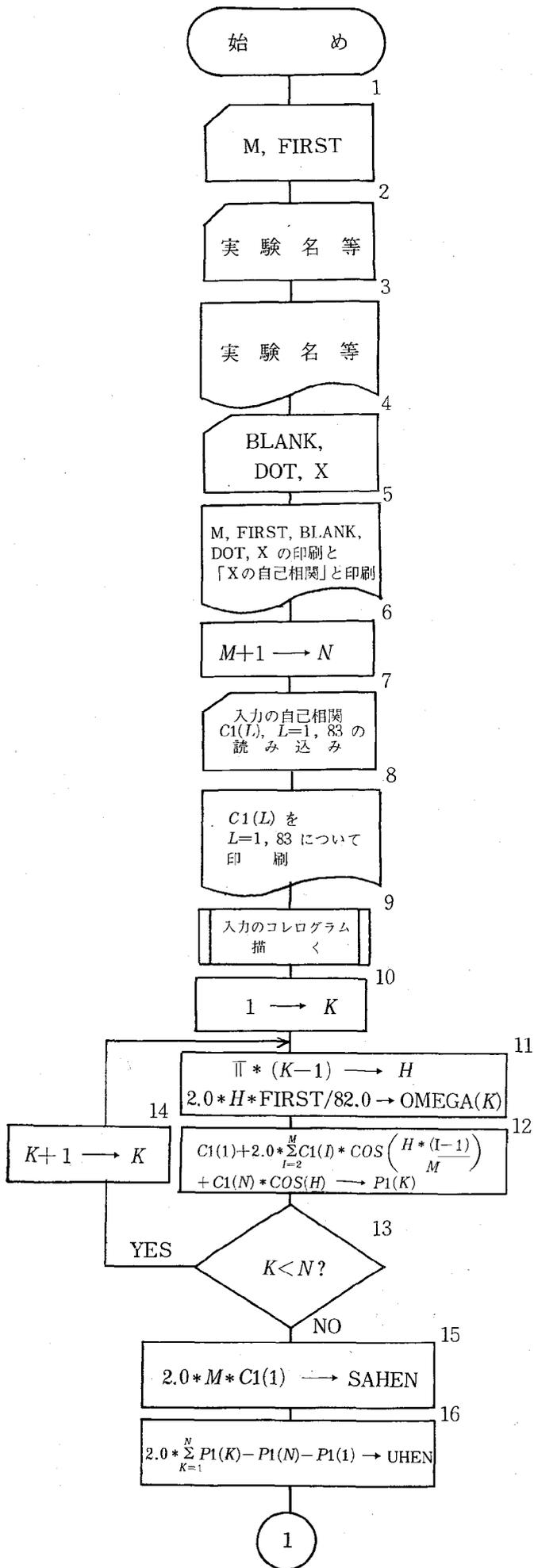
増山英太郎「人間における開回路伝達関数の決定」心理学研究, 37 卷 3 号, 143～
148. (1966)

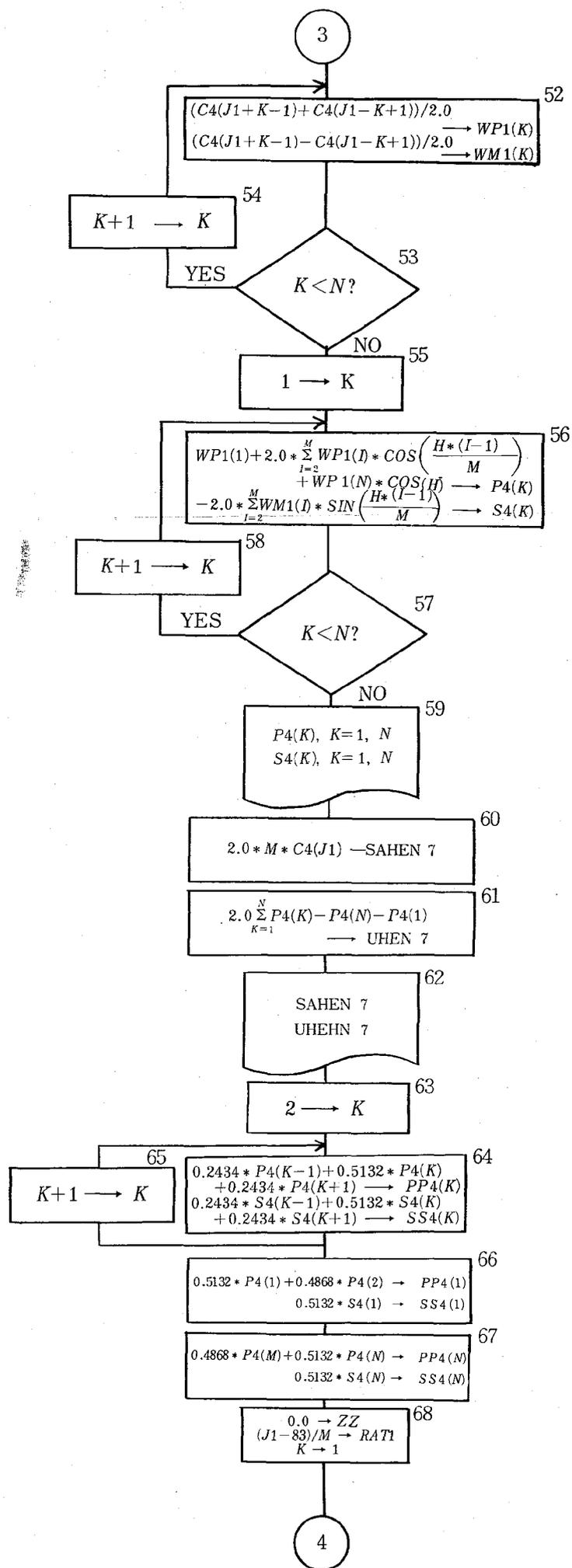
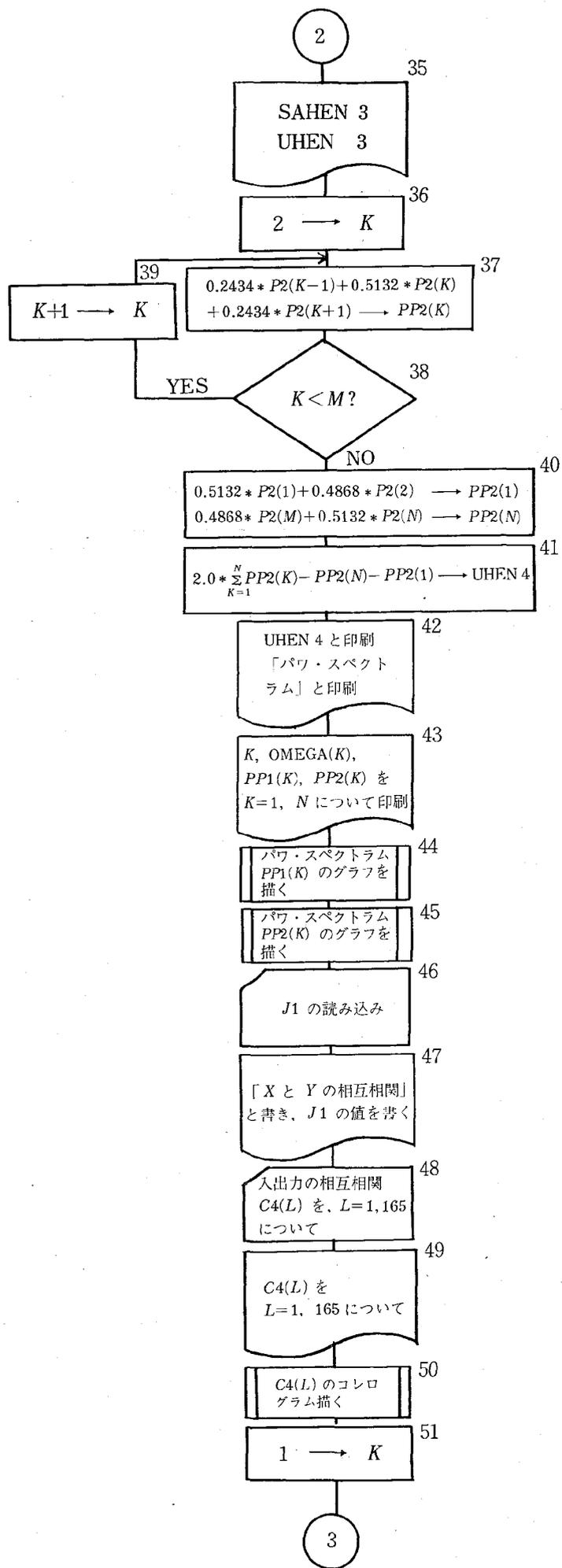
増山英太郎「ランダム波を目標量とする手動制御動作の伝達関数の決定の実験Ⅱ」,
商学討究, 第 19 卷 2 号, 141～171. (1968)

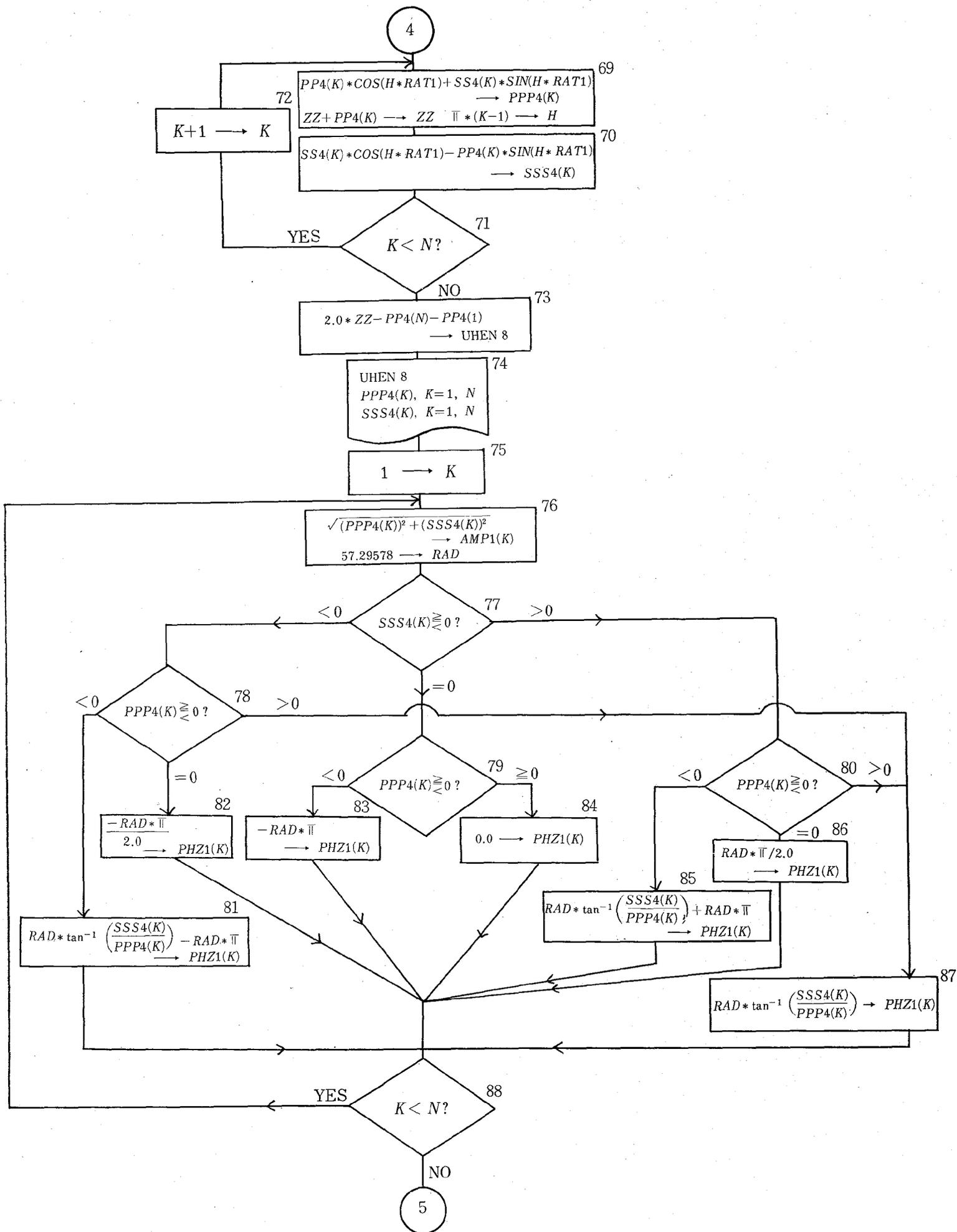
増山英太郎「目標波形と人間の手動制御動作特性との関係」日本機械学会内人間機
械系研究会, 第 5 回研究会発表・(1969— a)

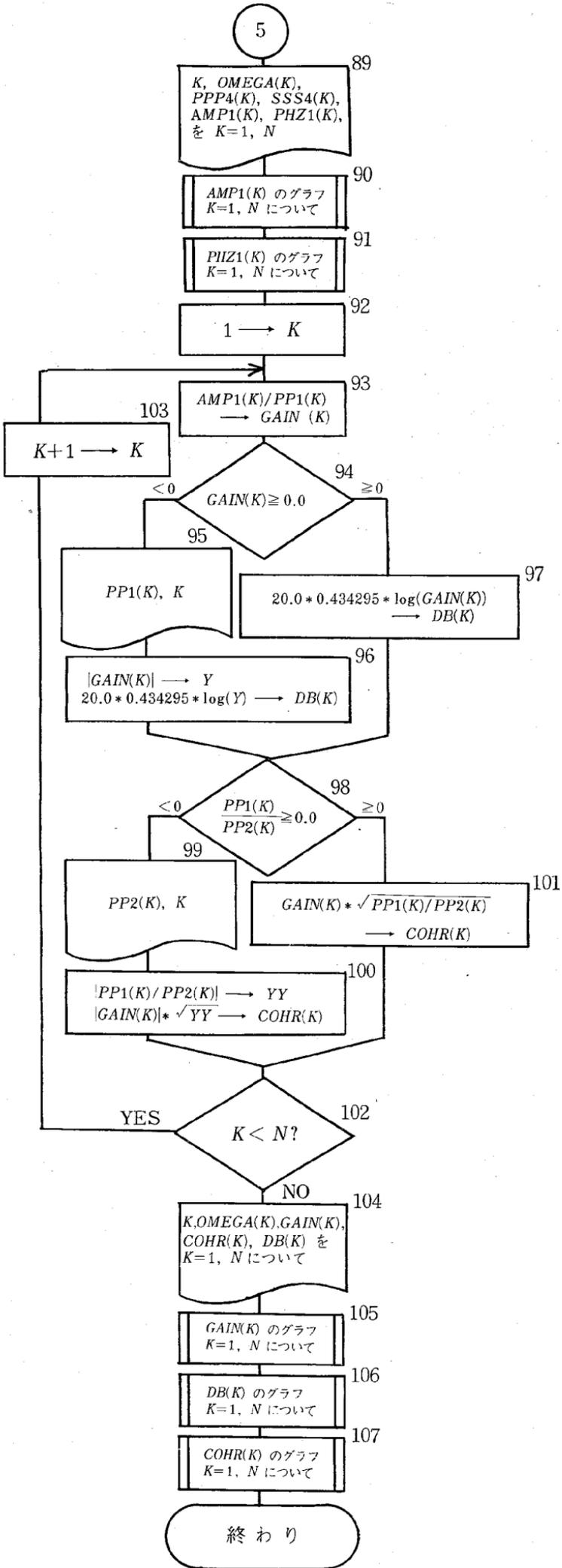
増山英太郎「トラッキング動作の人間工学的研究」——その12——北海道・東北心
理学会, 第 1 回合同大会発表・(1969— b)

Robinson, E. A. "Multichannel Time Series Analysis with Digital Computer
Programs." Holden-Day. (1967)









5

89
K, OMEGA(K),
PPP4(K), SSS4(K),
AMP1(K), PHZ1(K),
を K=1, N

90
AMP1(K) のグラフ
K=1, N について

91
PHZ1(K) のグラフ
K=1, N について

92
1 → K

93
AMP1(K)/PP1(K)
→ GAIN(K)

103
K+1 → K

94
GAIN(K) ≥ 0.0

95
PP1(K), K

97
20.0 * 0.434295 * log(GAIN(K))
→ DB(K)

96
|GAIN(K)| → Y
20.0 * 0.434295 * log(Y) → DB(K)

98
PP1(K)/PP2(K) ≥ 0.0

99
PP2(K), K

101
GAIN(K) * √(PP1(K)/PP2(K))
→ COHR(K)

100
|PP1(K)/PP2(K)| → YY
|GAIN(K)| * √YY → COHR(K)

102
K < N?

104
K, OMEGA(K), GAIN(K),
COHR(K), DB(K) を
K=1, N について

105
GAIN(K) のグラフ
K=1, N について

106
DB(K) のグラフ
K=1, N について

107
COHR(K) のグラフ
K=1, N について

終わり