数理解析研究所講究録
404巻 1980年 48-57

Orthogonal Fractional Factorial Structureを持つDesignについて

広大 理　西井 龍映

Fractional Factorial Design (FFD) の良さとしては，Resolution と sample size N を固定したDesign の class での A-，D-，E-optimality 等が考えられていて，それらは information matrix の固有値の関数となっている。また

(A)：考えているparameterを互いに無相関で推定できる（すべてのparameterは交絡(confound)しない）。

(B)：各factorのlevelがすべて等しいとき，Factorのpermutation groupに対しinvariant testができる。

という良さもあり，(B)はbalanced arrayで，(A)はlevelが等しいときorthogonal arrayで，levelが等しくないときはここで定義するorthogonal arrayで[Theorem 1.2]でかつそのときのみ満足されることがわかっている。ここでは条件(A)をゆるくした良さである

(C)：あるparameterのsetと他のparameterのsetが互いに無相関で推

定できる。

という性質をもつ Design について考えてみる。

1. $s_1 s_2 \cdots s_m$ Fractional Factorial Design

m 個の factor F_i は equi-spaced quantitative factor とし、その level は $\mathbb{Z}_{s_i}=\{0,1,\cdots,s_i-1\}$ の元と考える。処理組合せ $\underline{t}=(t_1,t_2,\cdots,t_m)$ $\in \mathbb{Z}_{s_1}\times\mathbb{Z}_{s_2}\times\cdots\times\mathbb{Z}_{s_m}$ の effect を $\eta(\underline{t})$、それらを $(t_1,\cdots,t_m)$ の辞書式順序で縦に並べた vector を $\underline{\eta}$ とし、$\underline{\eta}$ は parameter の vector

$\underline{\theta}=\begin{bmatrix}\theta(\varepsilon_1,\cdots,\varepsilon_m)\end{bmatrix}_{\varepsilon_i\in\mathbb{Z}_{s_i}}$ $(s_1 s_2\cdots s_m\times 1)$ ($\underline{\eta}$ と同じ順序) で次のように分解されていると仮定する。

$$\underline{\eta} = D_1\otimes D_2\otimes\cdots\otimes D_m\,\underline{\theta}$$

ただし $D_i=(d_i(\alpha,\beta))_{\alpha,\beta\in\mathbb{Z}_{s_i}}$ は $s_i\times s_i$ 実正則行列で、column vector は互いに直交し、$d_i(\alpha,0)=1$ $(\forall\alpha\in\mathbb{Z}_{s_i})$、$d_i(s_i-1-\alpha,\beta)=(-1)^{\beta}d_i(\alpha,\beta)$ を満たすものとする。通常考えられている D_i は直交多項式により定まる行列であり、それらはこの条件を満足する。たとえば $s_i=2,3,4$ のときには $D_i=\begin{bmatrix}1&-1\\1&1\end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix}1&-1&1\\1&0&-2\\1&1&1\end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix}1&-3&1&-1\\1&-1&-1&3\\1&1&-1&-3\\1&3&1&1\end{bmatrix}$ である。D_i の条件から s_i が odd かつ β も odd ($\mathbb{Z}$ の元とみて) のとき

$d_i(\frac{s_i-1}{2},\beta)=0$ となる。

$\theta(0,\cdots,0)$ は general mean、$\theta(0,\cdots,\varepsilon_i,\cdots,0)$ $(\varepsilon_i\neq 0)$ は Factor F_i の main effect、$\theta(0,\cdots,\varepsilon_{i_1},\cdots,\varepsilon_{i_p},\cdots,0)$ $(\varepsilon_{i_1}\neq 0,\cdots,\varepsilon_{i_p}\neq 0)$ は Factor $F_{i_1}\cdots F_{i_p}$ 間の interaction と呼ばれる。実際的な立場からは、高次の interaction は main effect 等

の低次の interaction にくらべると十分小さく，またその解釈も困難なことから，それらを無視可能として data の解析を行う。そこで $(l+1)$-factor interaction 以上は negligible つまり $\Theta_l = \{\theta(\varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_m) \mid (\varepsilon_1 \cdots \varepsilon_m)$ のうち非0なる要素は l 以下$\}$ に含まれる parameter のすべて，又は一部分を推定することを目的とする。

sample size が N の design T は，それの処理組合せ (assembly) を row vector にもつような $N \times m$ 行列と同一視する。T による観測値ベクトル $\underline{y}(T)$ は Θ_l に含まれる parameter によって

$$\underline{y}(T) = E_T \underline{\theta}_l + \underline{e}(T) \qquad (\mathcal{E}(\underline{e}(T)) = \underline{0},\ V(\underline{e}(T)) = \sigma^2 I_N)$$

なる回帰式があてはめられる。$E_T' E_T = M_T$ とおいて，M_T (information matrix) の性質を調べることになる。

$l = m$ のとき，M_T の要素で parameter の pair $(\theta(\underline{\alpha}), \theta(\underline{\beta}))$ に対応するものを $\varepsilon(\underline{\alpha}, \underline{\beta})$ とかくことにし，特に $\underline{\beta} = \underline{0}$ のときの $\varepsilon(\underline{\alpha}, \underline{0})$ は $\gamma(\underline{\alpha})$ とおく。任意の assembly $\underline{t}$ に対し，T がそれを何回含むか，その回数を $\lambda(\underline{t})$ (0からNまでの integer) であらわせば，次の Lemma が成立する。

LEMMA 1.1 $\quad \underline{\gamma} = D_1' \otimes D_2' \otimes \cdots \otimes D_m' \underline{\lambda}$

ただし $\underline{\gamma} = \begin{bmatrix} \gamma(\alpha_1, \cdots \alpha_m) \end{bmatrix}, \quad \underline{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda(t_1, \cdots t_m) \end{bmatrix}$

$\because \quad \gamma(\underline{\alpha}) = \sum_{t_1 \cdots t_m} d_1(t_1, \alpha_1) \cdot \cdots \cdot d_m(t_m, \alpha_m) \lambda(t_1, \cdots, t_m)$ であるから。

このLemmaを使うことにより, $2\ell \leqq m$を満たすℓに対し

THEOREM 1.2　TのresolutionがΘ_ℓ (M_Tが正則)のときすべての推定量が互いに無相関, すなわち M_Tが対角行列であるための必要十分条件は, Tのどの2ℓ個のcolumnからなる $N\times 2\ell$ の行列もすべてのあらわれうる$1\times 2\ell$のrow vectorを同じ回数(どのcolumnを選ぶかには依存する)含む(orthogonal array)となることである。

以上のLemma, Theoremには D_iについて $d_i(\alpha,\beta) = (-1)^\beta d_i(s_i-1-\alpha,\beta)$ を要求する必要はない。次はfold-over designの一般化である。

DEFINITION　Tを$s_1 s_2\cdots s_m$ FFDとする。Tがd-symmetric design ($1\leqq d\leqq m$)であるとは, m個のうちの任意のd個のfactor $F_{i_1},\cdots,F_{i_d}$について, $\sum \lambda(t_1\cdots t_{i_1}\cdots t_{i_d}\cdots t_m) = \sum \lambda(t_1,\cdots,s_{i_1}-1-t_{i_1},\cdots,s_{i_d}-1-t_{i_d},\cdots,t_m)$ が任意の$(t_{i_1},\cdots,t_{i_d})\in \mathbb{Z}_{s_{i_1}}\times\cdots\times\mathbb{Z}_{s_{i_d}}$について成立するときをいう。ただし$\sum$は$\{t_{i_1},\cdots,t_{i_d}\}$以外のすべての$t_j$について$\mathbb{Z}_{s_j}$内の要素を動いたときの和とする。

parameter $\theta(\varepsilon_1,\cdots,\varepsilon_m)$は $\sum\varepsilon_i$ ($\mathbb{Z}$の元としての和)が odd 又は even かに対応して odd 又は even parameter と呼ばれる。parameter の set Θ_ℓは odd parameter の set と even parameter の union $\Theta_{\ell o}\cup\Theta_{\ell e}$ と分

割され縦ベクトルに並べたものをそれぞれ $\underline{\theta}_{l,o}$, $\underline{\theta}_{l,e}$ とする。

THEOREM 1.3. T を Resolution Θ_l の FFD とする $(2l \leqq m, s_i \geqq 3)$. T による $\underline{\theta}_l = \begin{pmatrix} \underline{\theta}_{l,o} \\ \underline{\theta}_{l,e} \end{pmatrix}$ の推定量が $Cov(\hat{\underline{\theta}}_{l,o}, \hat{\underline{\theta}}_{l,e}) = 0$ を満たすための必要十分条件は, T が $2l$-symmetric design であることである。

($s_1 = \cdots = s_m = 2$ のときは $2l$ を $2l-1$ におきかえればよい)

証明 $m = 2l$ ($m > 2l$ のときも同様, 記号が複雑になるので省略)

($\Longrightarrow$) $\underline{\theta}_l$ は $\underline{\theta}_{l,o}$ と $\underline{\theta}_{l,e}$ 2つに分割されていて $Cov(\hat{\underline{\theta}}_{l,o}, \hat{\underline{\theta}}_{l,e}) = 0$ より M_T の $\underline{\theta}_{l,o}$ と $\underline{\theta}_{l,e}$ に対応する行列は O である。すなわち $\varepsilon(\underline{\alpha}, \underline{\beta}) = 0$ $\forall \theta(\underline{\alpha}) \in \Theta_{l,o}$ $\forall \theta(\underline{\beta}) \in \Theta_{l,e}$ を意味し, このことは任意の $\sum \varepsilon_i$ が odd となる integer $(0 \leqq \varepsilon_i \leqq s_i - 1)$ について $\gamma(\varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_m) = 0$ となることを含む. Lemma 1.1の式を $\underline{\lambda}$ について解いて

$$\underline{\lambda} = E_1 \otimes \cdots \otimes E_m \; \underline{\gamma}$$

を得る。ただし $E_i = D_i (D_i' D_i)^{-1}$ で $D_i' D_i$ は D_i の column vector が直交しているという条件から対角行列であり, そのため $E_i = (e_i(\alpha, \beta))_{\alpha, \beta \in \mathbb{Z}_{s_i}}$ の要素も $e_i(\alpha, \beta) = (-1)^{\beta} e_i(s_i - 1 - \alpha, \beta)$ を満たす行列となっている。$e_1(\alpha_1, \beta_1) e_2(\alpha_2, \beta_2) \cdots e_m(\alpha_m, \beta_m) = e(\underline{\alpha}, \underline{\beta})$ とおくと

$$\lambda(\underline{t}) = \sum e(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) \gamma(\underline{\varepsilon}) = \sum_{\sum \varepsilon_i : even} e(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) \gamma(\underline{\varepsilon})$$

が成立する。$\underline{t}^* = (s_1 - 1 - t_1, \cdots, s_m - 1 - t_m)$ とおくと $e(\underline{t}^*, \underline{\varepsilon}) = (-1)^{\sum \varepsilon_i} e(\underline{t}, \underline{\varepsilon})$ が E_i の性質よりわかるから

$$\lambda(\underline{t}^*) = \sum_{\sum \varepsilon_i : even} e(\underline{t}^*, \underline{\varepsilon}) \gamma(\underline{\varepsilon}) = \sum_{\sum \varepsilon_i : even} e(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) \gamma(\underline{\varepsilon})$$

という等式が成立する。故に $\lambda(\underline{t}) = \lambda(\underline{t}^*)$ がすべての $\underline{t}$ についていえるから T は 2l-symmetric design である

($\Leftarrow$) $\lambda(\underline{t}) = \lambda(\underline{t}^*)$ が常に満たされているから $\Sigma\varepsilon_i$ が odd となる任意の $\underline{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_m)$ に対し

$$\begin{aligned}
\gamma(\varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_m) &= \sum_{\underline{t}} d(\underline{t}, \underline{\varepsilon})\lambda(\underline{t}) = \frac{1}{2}\sum_{\underline{t}} \{ d(\underline{t}, \underline{\varepsilon})\lambda(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) + d(\underline{t}^*, \underline{\varepsilon})\lambda(\underline{t}^*, \underline{\varepsilon}) \} \\
&= \frac{1}{2}\sum_{\underline{t}} \{ d(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) + d(\underline{t}^*, \underline{\varepsilon}) \} \lambda(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) \\
&= \frac{1}{2}\sum_{\underline{t}} (1 + (-1)^{\Sigma\varepsilon_i}) \; d(\underline{t}, \underline{\varepsilon})\lambda(\underline{t}, \underline{\varepsilon}) \\
&= 0
\end{aligned}$$

又 $\mathcal{E}(\alpha, \beta)$ $(\theta(\alpha) \in \Theta_{l,o}, \; \theta(\beta) \in \Theta_{l,e})$ は $\{\gamma(\varepsilon_1, \cdots, \varepsilon_m) \mid \Sigma\varepsilon_i : \text{odd}\}$ の元の一次結合で表わせることは, $(d_i(0,\beta)d_i(0,\beta'), \cdots, d_i(s_i-1,\beta)d_i(s_i-1,\beta'))'$ $(\beta, \beta' \in Z_{s_i})$ というベクトルも D_i の column vector と同様な性質を満たす ($\beta+\beta'$ が odd か even かによって同符号か異符号) ことから示すことができる。故に $\mathcal{E}(\alpha, \beta) = 0$ すなわち $Cov(\hat{\underline{\theta}}_{l,o}, \hat{\underline{\theta}}_{l,e}) = 0$.

2. 2^m-Balanced Fractional Factorial Design

この章では特に $s_1 = \cdots = s_m = 2$ の場合について考えてみる。$\theta(0 \cdots \overset{i_1}{1} \cdots \overset{i_p}{1}, \cdots 0)$ を $\theta(i_1 \cdots i_p)$ と略記する。また design T として balanced design を考えるので $\gamma(10 \cdots 0) = \gamma(010 \cdots 0) = \cdots = \gamma(0 \cdots 01)$ 等が成り立つが, それらを $\gamma_p = \gamma(0 \cdots \overset{i_1}{1} \cdots \overset{i_p}{1} \cdots 0)$, $\gamma_0 = \gamma(0 \cdots 0) (= N)$ と略記する。Balanced Design の解析の手法(山本・白倉・栗田(1976))により次の2つの Theorem を得る。

THEOREM 2.1. Tを index set $\{\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4\}$ を持つ Resolution $\textcircled{H}_2$ の 2^m-Balanced Fractional Factorial Design とする。Tによる main effect と two-factor interaction の推定量の相関が0であるための必要十分条件は index が $\mu_0=\mu_4$, $\mu_1=\mu_3$ の関係を持つことである。

証明 (⇐) $\mu_0=\mu_4$, $\mu_1=\mu_3$ ならば T は 4-symmetric design である。故に Theorem 1.3 より odd parameter $\theta(1), \cdots, \theta(m)$ と even parameter $\theta(0\cdots0), \theta(12), \cdots, \theta(m-1, m)$ の推定量の相関は0である。もちろん main effect と two factor interaction の推定量の相関は0である。

(⇒) T は Resolution $\textcircled{H}_2$ の BFFD であるから、T の information matrix M_T は直交行列 P_2 $\left(\left(1+\binom{m}{1}+\binom{m}{2}\right)\times\left(1+\binom{m}{1}+\binom{m}{2}\right)\right)$ により

$$M_T = P_2' \begin{bmatrix} K_0 & & & & & \\ & \underbrace{K_1 & \cdots & K_1}_{m-1} & & \\ & & & \underbrace{K_2 & \cdots & K_2}_{\frac{m(m-3)}{2}} \end{bmatrix} P_2 \qquad \begin{array}{l} K_0 : 3\times 3 \\ K_1 : 2\times 2 \\ K_2 : 1\times 1 \end{array}$$

と分解される。M_T^{-1} もこの P_2 を使って K_i を K_i^{-1} $(i=0,1,2)$ に換えて表現できる。仮定より main effect と two factor interaction に対応する M_T^{-1} の submatrix が0であるから $K_1^{-1}=\begin{bmatrix} * & 0 \\ 0 & * \end{bmatrix}$ となり

$$K_1=\begin{bmatrix} \gamma_0-\gamma_2 & \sqrt{m-2}\,(\gamma_1-\gamma_3) \\ \sqrt{m-2}\,(\gamma_1-\gamma_3) & \gamma_0+(m-4)\gamma_2-(m-3)\gamma_4 \end{bmatrix}$$

で与えられているので $\gamma_1=\gamma_3$ がわかる。この関係を K_0 に代入すると

$$K_0 = \begin{bmatrix} \gamma_0 & \sqrt{m}\,\gamma_1 & \sqrt{\binom{m}{2}}\,\gamma_2 \\ & \gamma_0+(m-1)\gamma_2 & m\sqrt{\frac{m-1}{2}}\,\gamma_1 \\ (sym.) & & \gamma_0+2(m-2)\gamma_2+\binom{m-2}{2}\gamma_4 \end{bmatrix}$$ となり、前と同じ理由で $(K_0^{-1})_{2,3}=0$

であるから $\begin{bmatrix} \gamma_0 & \sqrt{m}\,\gamma_1 \\ \sqrt{\binom{m}{2}}\,\gamma_2 & m\sqrt{\frac{m-1}{2}}\,\gamma_1 \end{bmatrix}=0$ 故に $\gamma_1(\gamma_0-\gamma_2)=0$ 、K_1 が positive definite なので $\gamma_0-\gamma_2>0$ がわかっている。故に $\gamma_1=\gamma_3=0$ 。このことを $\{\mu_0,\mu_1,\mu_2,\mu_3,\mu_4\}$ と $\{\gamma_0,\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4\}$ との間の関係式に代入することにより $\mu_0=\mu_4=\frac{1}{16}\{\gamma_0+6\gamma_2+\gamma_4\}$, $\mu_1=\mu_3=\frac{1}{16}\{\gamma_0-\gamma_4\}$

つまり T は 4-symmetric design でもあることが証明された。

[注] 結局 main effect の推定量は general mean の推定量とも無相関になってしまう。

THEOREM 2.2. T を strength 2ℓ, resolution Θ_ℓ の 2^m-BFFD $(6\le 2\ell\le m)$ とする。任意の p, q $(1\le p\le q\le \ell)$ に対し、すべての p-factor interaction と q-factor interaction との covariance が 0 となるための必要十分条件は T が strength $2\ell-1$ の orthogonal array であることである。つまり T の index set を $\{\mu_0,\mu_1,\cdots,\mu_{2\ell}\}$ とすれば $\mu_0=\mu_2=\cdots=\mu_{2\ell}$, $\mu_1=\mu_3=\cdots=\mu_{2\ell-1}$ が成り立っていることと必要十分であるということになる。

証明 $(\Leftarrow)$ T が strength $2\ell-1$ の orthogonal array であれば

$$M_T \underset{\{\theta(i_1\cdots i_\ell)\}}{=} \left[\begin{array}{c|c} \begin{matrix} N & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & N \end{matrix} & 0 \\ \hline 0 & * \end{array}\right]$$ となる。$$M_T^{-1} = \left[\begin{array}{c|c} \begin{matrix} \frac{1}{N} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \frac{1}{N} \end{matrix} & 0 \\ \hline 0 & * \end{array}\right]$$ であるから

p factor interaction と q-factor interaction とは無相関である。

$(\longmapsto)$

$$M_T^{-1}=\begin{array}{r}\theta(0\cdots0)\\\{\theta(i)\}\\ \\ \{\theta(i_1\cdots i_l)\}\end{array}\left[\begin{array}{c|c|c|c} * & * & * & * \\ \hline * & * & 0 & 0 \\ \hline * & 0 & \ddots & 0 \\ \hline * & 0 & 0 & * \end{array}\right]=P_l'\begin{bmatrix} K_0^{-1} & & & & & & \\ & \underbrace{K_1^{-1} \cdots K_1^{-1}}_{m-1} & & & & 0 & \\ & & \ddots & & & & \\ & 0 & & & \underbrace{K_l^{-1} \cdots K_l^{-1}}_{\binom{m}{l}-\binom{m}{l-1}} \end{bmatrix}P_l$$

となる直交行列P_lが存在することが知られている。

ただし K_i は$(l-i+1)\times(l-i+1)$行列で、この場合のM_T^{-1}の形から $1\leq i\leq l-1$ なる i については K_i^{-1}（K_iも）は対角行列である。ここで$(l-1)$-factor interaction と l-factor interaction全体に対応するM_Tの sub-matrix $M_T(l-1,l)$をみると その行列は $\gamma_1,\gamma_3,\cdots,\gamma_{2l-1}$ を要素にもっていて、K_i（$1\leq i\leq l-1$）の非対角成分がすべて 0 であることから、$\gamma_1,\gamma_3,\cdots,\gamma_{2l-1}$ の$(l-1)$本の一次独立な contrast が 0 であることがわかる。（K_i の $(l-i,l-i+1)$成分は$\gamma_1,\gamma_3,\cdots,\gamma_{2l-1}$の contrastより生成されるから）。故に $\gamma_1=\gamma_3=\cdots=\gamma_{2l-1}$ が示された。

同様にM_Tの sub-matrix $M_T(l-2,l)$ を考えることにより $\gamma_2=\gamma_4=\cdots=\gamma_{2l-2}$ を示すことができる。さらに K_1 の $(1,2)$成分が$\sqrt{m-2}(\gamma_1-\gamma_3)$で$K_1$も対角行列であることから $\gamma_1=\gamma_3$ すなわち $\gamma_1=\gamma_2=\cdots=\gamma_{2l-1}$ （$=\gamma$とおく）がわかる。ここで K_0^{-1}はM_T^{-1}の仮定により

$$K_0^{-1}=\begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \cdots & a_l \\ a_1 & b_1 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ a_l & 0 & & b_l \end{bmatrix}$$

となっていて K_0はN,γで

$$\begin{bmatrix} N & \sqrt{m}\gamma & & \\ \sqrt{m}\gamma & N+(m-1)\gamma & & \\ \sqrt{\binom{m}{2}}\gamma & m\sqrt{\frac{m-1}{2}}\gamma & & \\ \vdots & \vdots & & \end{bmatrix}$$

と表わせる。もし $\gamma\neq0$ と仮定し $K_0K_0^{-1}$ の $(1,2)$成分と $(3,2)$成分を具体的に書き表わすと

$$\begin{cases} N a_1 + \sqrt{m}\,\gamma\, b_1 = 0 & \text{——①} \\ \sqrt{\binom{m}{2}}\,\gamma\, a_1 + m\sqrt{\frac{m-1}{2}}\,\gamma\, b_1 = 0 \end{cases}$$

を得る。$\gamma \neq 0$ より $a_1 = -\sqrt{m}\, b_1$

これを①式に代入して $\sqrt{m}(\gamma - N) b_1 = 0$. K_0^{-1} は positive definite より $b_1 > 0$ 故に $N = \gamma$ これは M_T が non-singular (resolution R_ℓ) であることに矛盾する。故に $\gamma = 0$ すなわち $\gamma_1 = \gamma_2 = \cdots = \gamma_{2\ell-1} = 0$ が示された。これは T が strength $2\ell-1$ の orthogonal array であることを意味する。T は strength 2ℓ の Balanced array で index が $\{\mu_0, \mu_1, \cdots, \mu_{2\ell}\}$ であるから strength $2\ell-1$ のときの Balanced array としての index は $\{\mu_0+\mu_1, \mu_1+\mu_2, \cdots, \mu_{2\ell-1}+\mu_{2\ell}\}$ であり orthogonal array であるためには $\mu_0+\mu_1 = \mu_1+\mu_2 = \cdots = \mu_{2\ell-1}+\mu_{2\ell}$ でなければならない。故に $\mu_0 = \mu_2 = \cdots = \mu_{2\ell}$, $\mu_1 = \mu_3 = \cdots = \mu_{2\ell-1}$ が証明された。

REFERENCE

Yamamoto, S., Shirakura, T. and Kuwada, M. (1976). Characteristic polinomials of the information matrices of balanced fractional 2^m factorial designs of higher (2ℓ+1) resolution, "Essays in Probability and Statistics" (S. Ikeda et al., Eds.), birthday volumn in honor of Professor J. Ogawa, Shinko Tsusho Co. Ltd., Tokyo, 73-94.