

母親の言語に対する新生児，乳児の反応に みられるエントレインメント現象のコンピ ューター画像分析(第3報)

研究第2部 加藤 忠明・澤田 啓司
副所長 高橋 悦二郎
研究協力者 小林 登
(東京大学医学部小児科)
多田 裕
(都立築地産院小児科)
水野 悌一
(お茶の水女子大学家政学部児童学科)
石井 威望・渡辺 富夫
(東京大学工学部産業機械工学科)

I 研究目的

生後2日目～1カ月目の新生児も、人間の声と他の雑音とを区別でき、人間の声に反応して体動をおこし、密接な母子関係があることを、我々は前回報告した¹⁾。今回は、症例数を増やし、どのような相互関係があるか分析した。

母子間の相互関係、情報伝達は、成長後の会話の原始的形態であって、共通の遺伝情報を有する分散システムの実例である。その分散システムの数学的なモデル化を試みた。

II 対象

総合母子保健センター愛育病院で正期産児として出生し、特に問題なく発育している生後1～6日目の新生児33人を対象としたが、そのうち8人は、生後1カ月目にも同様の観察を行なった。

新生児を約30℃の保育器の中に裸体で仰臥位に寝かせ、その側より母親や医師や看護婦の声、雑音、拍手の音を聞かせた。母親の音声等を録音し、同時に新生児の四肢の動きをビデオテープにとり、画像に写し出し分析した。新生児が34秒間閉眼しているが、啼泣しておらず

分析できた箇所は77カ所であった。そのうちわけは表1に示す通りである。

表1 研究対象

人間による新生児への語りかけ 68例	決められた言葉による母親の語りかけ	31例
	自由な言葉による母親の語りかけ	18例
	決められた言葉による医師や看護婦の語りかけ	10例
	自由な言葉による医師や看護婦の語りかけ	9例
非人間的な音を新生児に聞かせる 9例	人工的な雑音	7例
	自然な雑音	1例
	拍手	1例

III 方法

1. 34秒間の相互相関関数による分析

前回とはほぼ同様の分析方法で例数を増やして分析した。今回は、方法論は略述するにとどめる。音の強さ $V(t)$ は、音声の電圧変換値 $1/60$ 秒毎の最大値と最小値の差で示した。左右の上下肢のうち一肢のみをビデオテープよりひろいだし、そこを 16×16 のマトリックスとしてとらえ、 $1/60$ 秒毎の変化を、体動の大きさ $Z(t)$ と考え

た。これらの $V(t), Z(t)$ より、音の強さと体動の大きさの相互関係を分析する相互相関関数 $Y(\tau) =$

$$Y(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^n \{V(t+i/60+\tau) - \mu_V\} \{Z(t+i/60) - \mu_Z\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \{V(t+i/60+\tau) - \mu_V\}^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n \{Z(t+i/60) - \mu_Z\}^2}}$$

を考えた。ここでの記号は以下の通りである。

- $n=2048$ ($=2^{11}$), $\mu_V=V(t)$ の34秒間の平均値,
- $\mu_Z=Z(t)$ の34秒間の平均値, $-3 \leq \tau \leq +3$ 秒,
- $0 \leq (t+i/60+\tau), (t+i/60) \leq 34$ 秒

ここでは、 $1/60$ 秒毎に約34秒間、2048対のデータの相関係数を計算し、音声と体動との相互関係の有無を検討した。 τ の値が -3 秒から $+3$ 秒までの範囲で $1/60$ 秒毎に $Y(\tau)$ の値をコンピュータにより計算したグラフの代表例を図1に示す。

図1 相互相関関数 $Y(\tau)$

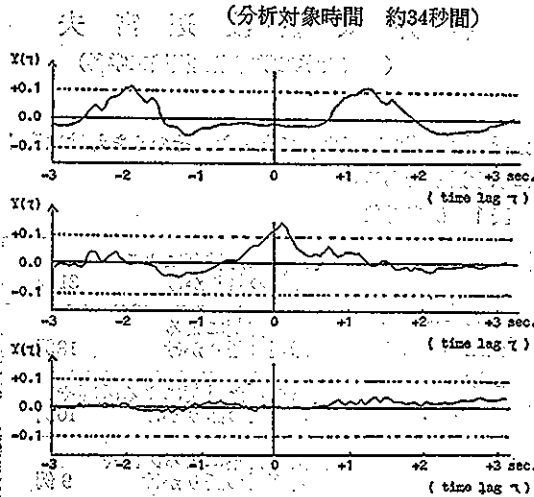


図1上段の図では2つのピークがあるが、 τ の値が負の領域のピークは、音声の後に体動が生じていることを示し、 τ の値が正の領域のピークは、体動の後に音声があることを示している。中段の図は τ が0秒付近にピークがあり、音声と体動とがほぼ同時に生じていることを示している。下段の図ははっきりしたピークがなく、音声と体動とに相関のないことを示している。

2. 8秒間の相互相関関数による分析

個別の言葉ごとに約8秒間、 $1/60$ 秒毎に512対のデータの相関係数を計算し、母子の相互関係を分析した。即ち前記した相互相関関数 $Y(\tau)$ において

$n=512$ ($=2^9$), $\mu_V=V(t)$ の8秒間の平均値,

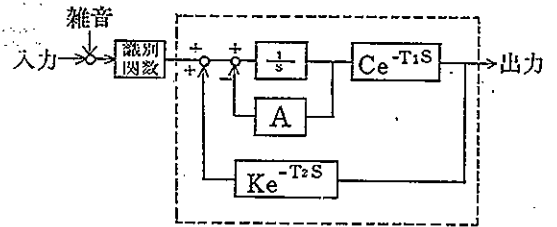
$\mu_Z=Z(t)$ の8秒間の平均値, $-2 \leq \tau \leq +2$ 秒,
 $0 \leq (t+i/60+\tau), (t+i/60) \leq 8$ 秒

の範囲で $Y(\tau)$ を個別の言葉ごとに計算した。ピークを示せば、個々の言葉と体動とに相互関係のあることを示している。

3. 相互関係の数学的分析

母子間のコミュニケーションモデルを構築するのに、まず新生児モデルを図2のように考えた。

図2 新生児モデル



ここで、入力には音声刺激、出力は新生児の体動を表わす。識別関数は、新生児が遺伝情報により、人間の声と雑音とを識別するためのフィルタである。新生児の出力信号は次の3つの信号、①入力信号(識別関数を通じた信号)、②内部のフィードバック信号、③自己の出力信号、により決定されると仮定する。このモデルにおいて係数 A, K, C は確定的な値ではなく確率的な変数であるが、ここではその期待値を考えることにし、定数として扱う。即ち、図2で破線で示したシステム $H(s)$ は、定係数線形系であると仮定する。この系の伝達関数は、

$$H(s) = \frac{C \cdot e^{-T_1 s}}{s + A - K \cdot C \cdot e^{-(T_1 + T_2) s}}$$

となる。ここで各係数は次の意味をもつ。
 K : 身体を動かすことにより内部状態を高めていると考えられる場合には $K < 0$ 、即ち正のフィードバックであり、逆に身体を動かすことで内部状態を安定させると考えられる場合には $K > 0$ 、即ち負のフィードバックが働くと考えられる。 K はこのように正負いずれの場合もとり得る。

A : 内部状態は時間と共に減衰するので負のフィードバックが働くと考えられる。
 C : 内部状態の出力への反映はランダムであって線形ではなく、 $[0, 1]$ の範囲の値をとる。

T_1 : 刺激を受けてから反応するまでの遅れ時間である。
 T_2 : 自己の出力信号が内部状態に影響を与えるまでの遅れ時間である。

この系について安定性を検討すると、 $K \geq 0$ の時は $A >$

CK が安定条件であり、 $K < 0$ の時は $\sqrt{A^2 + \omega^2} > -CK$ が安定条件である。ただし、この ω は $\sin \omega(T_1 + T_2) = \frac{\omega}{\sqrt{A^2 + \omega^2}}$, $\cos \omega(T_1 + T_2) = \frac{-A}{\sqrt{A^2 + \omega^2}}$ を満たす最小の正の値である。

安定領域、不安定領域で各パラメーターを決め $H(s)$ を計算し、相互相関関数 $Y(\tau)$ を再現できるかどうか検討した。

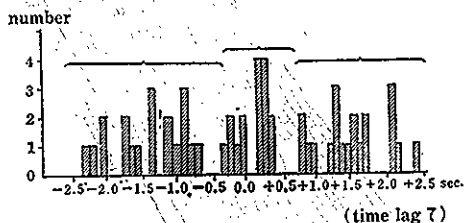
母親モデルも新生児モデルと根本的には同じであると見なし、母子間コミュニケーションモデルを構築した。

IV 結果

1. 34秒間の相互相関関数による分析結果

雑音や拍手と、新生児の体動との相関を調べた対照群としての9例は、全て図1下段のような図となり、音と体動とは相関がなかった。人間の語りかけと新生児の体動との相関を調べた68例中39例で、図1上段か中段のようなピークを示した。これは危険率1%で、人間の語りかけと新生児の体動とに相関のあることを示している。ピークを示した τ の値の分布を図3に示す。

図3 ピークを示した τ の値



この τ を3つの範囲 -2.4から -0.7まで、-0.4から +0.3まで、+0.7から +2.4までに分類すると、それぞれの平均値±標準偏差は、 -1.3 ± 0.5 , $+0.05 \pm 0.2$, $+1.4 \pm 0.4$ となった。このことは、語りかけられた新生児が語りかけに反応して、1.3秒後に体動をおこし、その新生児の体動を見て1.4秒後に大人が語りかけていることを示している。0秒付近のピークは、体動と語りかけとがほぼ同時に生じていることを示している。この3つの範囲で、男女別、生後日数別にピークを示す割合をみたのが表2である。

出生後数日の新生児より生後1ヶ月の児の方が、又、男児より女児の方が、より相関を示す率が高い傾向にあったが有意差は見出せなかった。次に「よしよし」等の決められた言葉による場合と、自由な言葉の場合の相関を示す率、母親が語りかけた場合と、新生児を扱ったことのある医師や看護婦が語りかけた場合の率を表3に示すが、有意差はなかった。

表2 男女別、生後日数別のピークを示す率

τ の範囲	男児			女児			計		
	a.	b.	c.	a.	b.	c.	a.	b.	c.
生後1~6日目	5/26	4/26	8/26	9/24	7/24	3/24	14/50	11/50	11/50
生後1ヶ月目	0/3	0/3	0/3	5/15	5/15	9/15	5/18	5/18	9/18
計	5/29	4/29	8/29	14/39	12/39	12/39	19/68	16/68	20/68

a : $-2.4 \leq \tau \leq -0.7$

b : $-0.4 \leq \tau \leq +0.3$

c : $+0.7 \leq \tau \leq +2.4$

表3 語りかける言葉の違いでの率と母親とそれ以外の人のピークを示す率

τ の範囲	決まった言葉			自由な言葉			計		
	a.	b.	c.	a.	b.	c.	a.	b.	c.
母親	6/31	9/31	9/31	7/18	3/18	5/18	13/49	12/49	14/49
医師や看護婦	4/10	1/10	3/10	2/9	3/9	3/9	6/19	4/19	6/19
計	10/41	10/41	12/41	9/27	6/27	8/27	19/68	16/68	20/68

a : $-2.4 \leq \tau \leq -0.7$

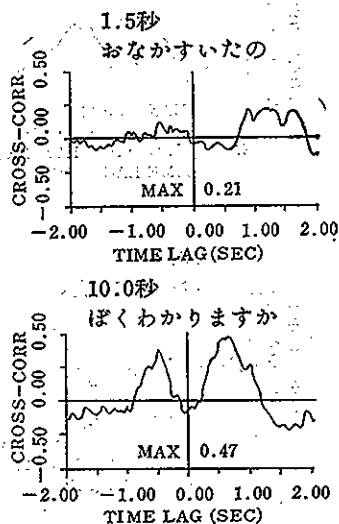
b : $-0.4 \leq \tau \leq +0.3$

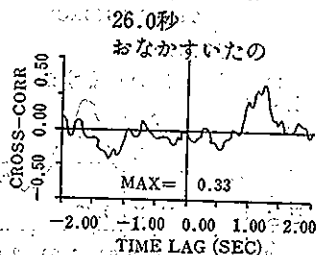
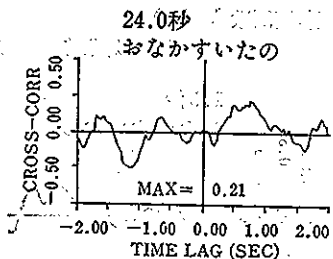
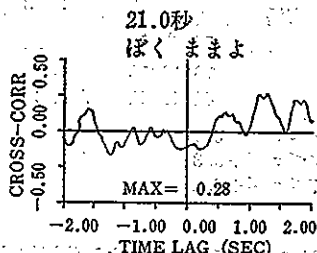
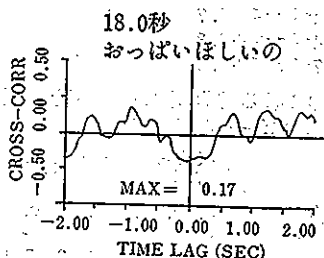
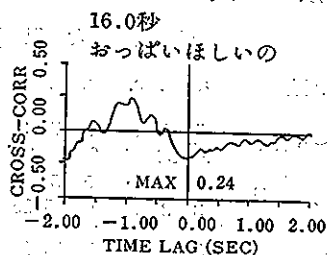
c : $+0.7 \leq \tau \leq +2.4$

2. 8秒間の相互相関関数による分析結果

自由な言葉による母親の語りかけの1例を、個別の言

図4 相互相関関数 $Y(\tau)$

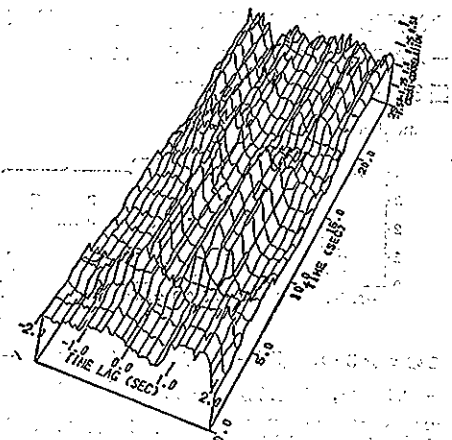




葉ごとにその前後に時間軸（分析対象時間約8秒間）を設けて分析した結果を図4に示す。

10秒付近の「ぼくわかりますか」という語りかけに対しては、正の領域、負の領域ともピークができています。しかし、1.5秒付近の「おなかすいたの」という語りかけに対しては、母親が新生児の動きに合わせて発声しているが、新生児側の反応は見られない。このように詳細にみると、各音節程度の短かい部分のみの $Y(\tau)$ は、場合によって、多様に変化している。従って、時間軸上でそれらを3次的に表示すると、図5に示すようになる。横軸が音声と体動との時間差 τ 、高さの軸が相関係数の値で、この面で、分析対象時間8秒間の相互相関関数 $Y(\tau)$ を示している。このグラフを1秒毎にたて軸方向に重ねていくと図5が作られた。

図5 8秒間の $Y(\tau)$ の時系列的変化



3. 相互関係のモデル化

安定領域の1例として $A=10, K=-10, C=0.3, T_1=1, T_2=0.6$ とした場合の $H(s)$ (図6), 不安定領域の1例として $A=10, K=30, C=0.5, T_1=1, T_2=0.6$ とした場合の $H(s)$ (図7) を以下に示す。

図6 安定領域の $H(s)$

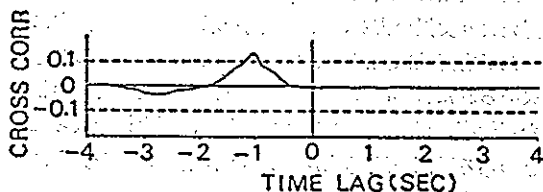


図7 不安定領域のH(s)

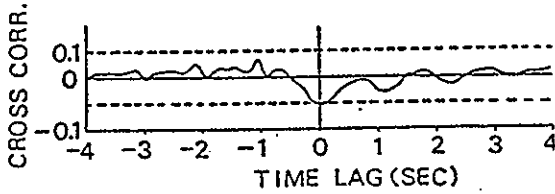
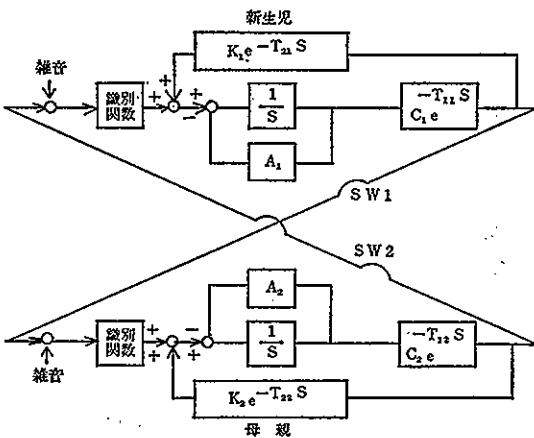


図6では，母親の語りかけに反応して新生児が体動をおこしてピークが出現しており，図7では，語りかけと体動とが有意の相関のないことを示している。このようにH(s)は，実際の相互相関関数とかなり一致することが判明した。従って，母親と新生児を分散システムと見なした場合の母子間コミュニケーションモデルは図8に示すように考えられた。

図8 母子間コミュニケーションモデル



V 考案

個別の言葉ごとに約8秒間のY(τ)を計算すれば，34秒間の平均では打消されて，言葉と体動との相関が一見ない例にも関連が見出せることがある。しかし，個々の言葉ごとに調べたのでは，どの時点から何秒間分析するかという問題があり，それによって結果は変わってくる。又，言葉と体動との個々の変化の状態を調べたのでは，お互い無関係に生じているかもしれない。従って，我々の研究では，語りかけと体動とに相関があるかどうかは，34秒間の解析の例のみ統計的処理を施行した。

有意差は示さなかったが，生後1ヵ月になった方が生後数日の児より成人の語りかけに反応しやすいことは，新生児がそれだけ成長したことを示している。女児の方が男児より反応しやすい傾向があったが，これは生後2

～3歳になってからの言葉の発達と関連があるかもしれない。母親が語りかけた場合と，経験ある医師や看護婦が語りかけた場合とで反応する率に差がなかったのは，出産後母親が病気等で新生児の世話をできない時，看護婦等でもその世話を代わりうることを示している。新生児の体動と成人の語りかけとが同期する現象は，新生児が注意を集中している時には必ず生じる現象かどうか今後研究していきたい。新生児が緊張して反応しやすい状態かどうかは，脈拍数やその分散で調べながら症例数を重ねるつもりである。

相互関係のモデル化において，A，K，Cは確率的な変数で，安定領域と不安定領域とを交互に推移していると考えられる。実際の母親や新生児の解剖学的生理学的意味と，A，K，C等は，現在直接的には結びつかないが，今後研究していきたい。

本研究の要旨は第85回日本小児科学会，第29回日本小児保健学会にて発表した。

なお本研究の研究費は，厚生省母子相互作用研究班，文部省個性の発現過程の解析研究班，及びカルピス三島財団の研究費による。

文 献

- 1) 加藤忠明，他：母親の言語に対する新生児，乳児の反応にみられるエントレインメント現象のコンピューター分析（第2報），日本総合愛育研究所紀要，第17集：49～53，1981。