

運動負荷及び情動負荷における 心電図の測定と周波数分析

糸山 景大・後藤ヨシ子

長崎大学教育学部工業技術教室・家庭教室
(平成3年2月28日受理)

Frequency Analysis and Measurement of the Electrocardiogram in the Athletic and Emotional Loads

Kagehiro ITOYAMA and Yoshiko GOTO

Department of Technology・Department of Home Economics,
Faculty of Education, Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan
(Received February 28, 1991)

Abstract

An electrocardiogram shows an active potential of heart as a function of time and is very important information on a living body. The present paper reports the result of the electrocardiogram and its frequency analysis which were measured in an athletic and an emotional loads for students. Students were tested a riding a bicycle as the athletic load and a playing TV game as the emotional load. A heart rate in the athletic load shows about twice and an amplitude of P-wave and T-wave in the electrocardiogram becomes higher than that in a complete rest condition. In the frequency analysis of electrocardiogram, each frequency component which corresponds to P-wave, T-wave, a width of QRS and a width of RR shifts to the higher frequency in the athletic load. And, the amplitude for each frequency component decreases with frequency, f , as a function of $(1/f)$ in the athletic load. In the emotional load, the heart rate rises 20% up in comparison with it in the complete rest condition. The present paper discusses on the relation between the frequency analysis and each load.

1. ま え が き

生体から得られる情報としては、体温、血圧、心拍数、心電図、脳波など多種多様の被測定量がある。このうち活動時の生体情報を得る場合、最近心拍数を血流の変化から読み取り、光学的な手法で測定する方法が広く用いられている。この方法は測定が簡便であるが、生体の活動が活発になり、血流速度が早くなった場合、誤差を生じやすい点がある。

生体活動時に心拍数の上昇が見られることは、通常誰もが経験することである。このように、心拍数のように心臓に関する情報は、生体の情報として相当多くの情報を得ることができる。この研究として従来から広く測定されてきたのが心電図である⁽¹⁾。

心電図に関する研究は、これまで多方面からなされている。心電図の測定は通常安静時に行われるが、最近心電図の長時間測定（ホルター心電図）によって、生体の活動時の心電図の変化の分析研究が進められている⁽²⁾。

筆者らは、このような研究の1つとして、母子相互の作用を生理学的反応として捉える立場から、テスト場面の母と児の心電図を同時に測定し、双方の情動の変化に対応する心拍数の変化から、母子相互作用の研究を進めてきた。実際に、座っているだけで何ら運動しない母親の心拍数が、児の活動に対応して変化する結果を得ている⁽³⁾。このような情動の変化に対する心拍数の変化を質的な視点から検討する場合、心電図の波形分析を行うことによって、より正確な判断が可能となる。

今回は以上のような観点から、成人に対して運動負荷及び情動負荷を与えた場合の心電図の波形を測定し、心拍数の測定と共に心電図の波形分析を行い、それらの変化と各負荷と関係づけて検討し、今後の母子相互作用の研究の基礎資料とする。

2. 心電図の測定回路

生体からの情報を得る場合、検出できる電圧は心電図で $100\mu\text{V}$ ～数 mV である。また生体は信号源であると共に大きな抵抗体であり、交流誘導雑音等が混入しやすい。従ってS/Nを向上させる必要があり、本研究でも差動増幅器を製作した。

本研究で自作した、差動増幅器の回路を図1に示す。回路は演算増幅器(OPアンプ)を用いた極めて広範に採用されている差動増幅回路である。増幅に用いたICはテキサス・イ

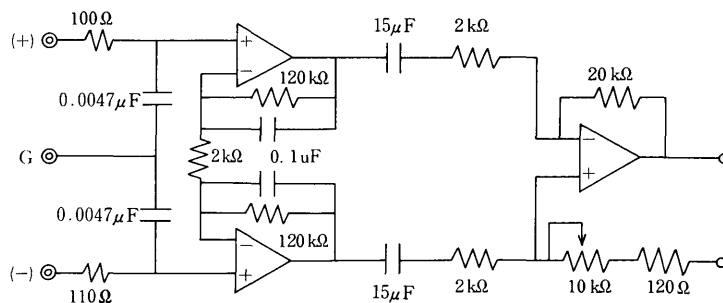


図1 差動増幅器； $R = 120\text{k}\Omega$ ， $R_x = 2\text{k}\Omega$ ， $R_f = 20\text{k}\Omega$ ， $R_s = 2\text{k}\Omega$

ンスツルメント社製 TL084 である。この回路の増幅度 (A_d) は式(1)で与えられる。図 1 に示す回路の場合、約1,200倍 (61.6[dB])となる。但し、可変抵抗を変化させることによって、増幅度も変化させられる。

$$A_d = \left(1 + \frac{2R}{R_x}\right) \left(\frac{R_f}{R_s}\right) \quad (1)$$

実際の測定においては、何らかの活動時の心電図であり、この場合長時間心電図（ホルター心電図）と同じく 3 端子で測定するようにした。

3. 測定方法

3-1 心電図及びその波形分析の測定

測定方法の概略を図 2 に示す。ホルター心電図の測定と同じように、胸部より心臓の活動電位を取り出した。すなわち、図 2 に示した被検者の電極 1 から (+) 電位、電極 2 から (-) 電位を取り出し、差動増幅器に入力した。電極 G はアース電極である。なお、今回の測定で用いた電極は銀／塩化銀電極の「ビトロード使い捨て電極 B-150」である。

被検者には後で述べる運動負荷及び情動負荷を与えながら、各種負荷の前(安静時)、危荷中、危荷後の差動増幅器で増幅し、その出力をいったんデータレコーダに記録した。データレコーダに記録された心電図は、随時アナライジングレコーダ (YEW3655) に入力し、心電図の波形とその波形分析を行い記録紙に出力した。なお、周波数分析の際の周波数の範囲をどの程度にするかが問題となる。今回の測定では、これまでの経験を基に、主要な周波数成分が 50 [Hz] 以内に現れることから、その周波数範囲を 0 ～ 50 [Hz] として測定を実施した。

3-2 負荷について

(A) 運動負荷として

運動負荷として、自転車こぎを課した。即ち、固定された自転車に乗って、男子の場合は約 30 [km/時] 一定で、女子の場合は約 20 [km/時] 一定で 3 分間の運動を続けるよう指示した。運動の前後はイスに掛けて安静にするように指示し、運動の前、中、後を通して

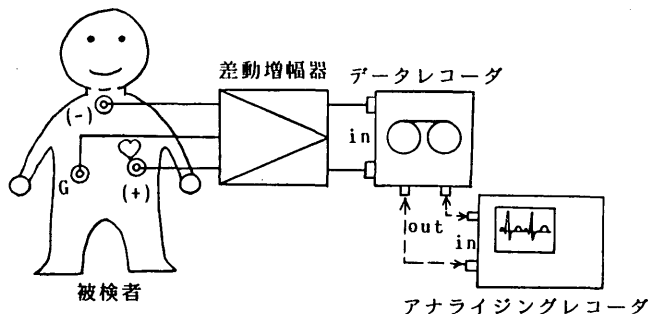


図 2 心電図の測定の概略図

8～10分間連続して心電図を測定した。被検者は大学生で男子12名、女子6名であった。

(B) 情動負荷として

精神的な緊張を伴うと考えられるコンピュータゲームを被検者に課し、心電図を測定した。コンピュータゲームは種々多様あるが、ここでは目と手の共応を必要とし、点数を競うような種類のゲームを課した。測定時間はゲームによって多少異なるが、20分程度であった。被検者には、運動負荷を実施した男性の中から3名を抽出した。

コンピュータゲームを行っている間、被検者はイスに掛けたままであり、身体的には手(正確には指)を動かす以外は、殆ど静止状態と見なしうる。なお、被検者はこれらのゲームに関しては経験者であり、客観的にはゲームを楽しんでいると思われた。

4. 結果と考察

心臓の拍動に伴い、心臓に生じた活動電位を、目に見える波形にまで増幅して記録したものが心電図である。心電図の波形を模式的に示すと図3のようになるが、波形の各部は図3のようにP、Q、R、S、T、Uの各記号で命名されている。このうちP波は心房の興奮、QRSは心室の興奮、T波は心室の興奮がさめていく過程を示している。このように心電図の波形から、時間軸に関して、P波の幅、QRSの幅、QT時間及びRR間隔が心電図の診断に用いられている。

図4-(a)～(d)は被検者C(21歳、男性)の、運動前(安静時)及び運動負荷中の、心電図及びその波形分析の結果である。図中①～④は、①P波の幅、②QRSの幅、③T波の幅及び④RR間隔にそれぞれ対応する周波数成分を示している。

図4-(a)、(b)に示すように、安静時においては、P波からT波にかけて、通常的心電図の波形に見られる規則正しい波形となっている。RR間隔は0.88秒で、1分間当りの心拍数に換算すると68回となる。波形分析の際に現れる周波数成分のうち、直流成分を除けば、最も低い周波数成分がこれに対応している。なお10Hz以上の周波数成分では、周波数(f)の上昇に対して、ほぼ $(1/f^2)$ に比例して減少している。この現象は今回測定した、ほとんどの男子学生について現れている。なお、被検者の中の半数以上が喫煙者であり、安静時でさえ心拍数が90[回/分]近い値を示す例があった。

図4-(c)、(d)は、運動負荷中の心電図の波形と波形分析の結果である。この波形を安静時の波形と比較すると、まずRR間隔が0.40秒とほぼ半分になっている。運動負荷中であり、心臓の活動が早くなり、心拍数が上昇している。この場合は、1分間に148回の心拍数に相当し、これは安静時のほぼ2.1倍である。今回の測定で、安静時に対する運動負荷時の心拍数の増加は、男子学生の場合1.6倍～2.2倍であり、平均値は1.8倍であった。この値はすでに報告されている値とほぼ同じである。

波形に関する事柄のうち、RR間隔の短縮と共に、P波の幅、QRSの幅、T波の幅が減少している。特に、T波の幅の減少は顕著で、心室の興奮がさめる前に、次の心房の興奮状態に引き継がれることを物語っている。

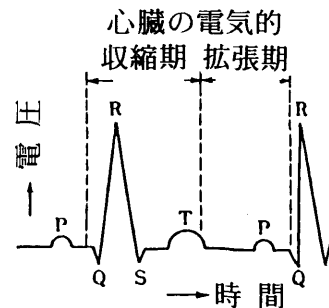


図3 心電図の波形の模式図

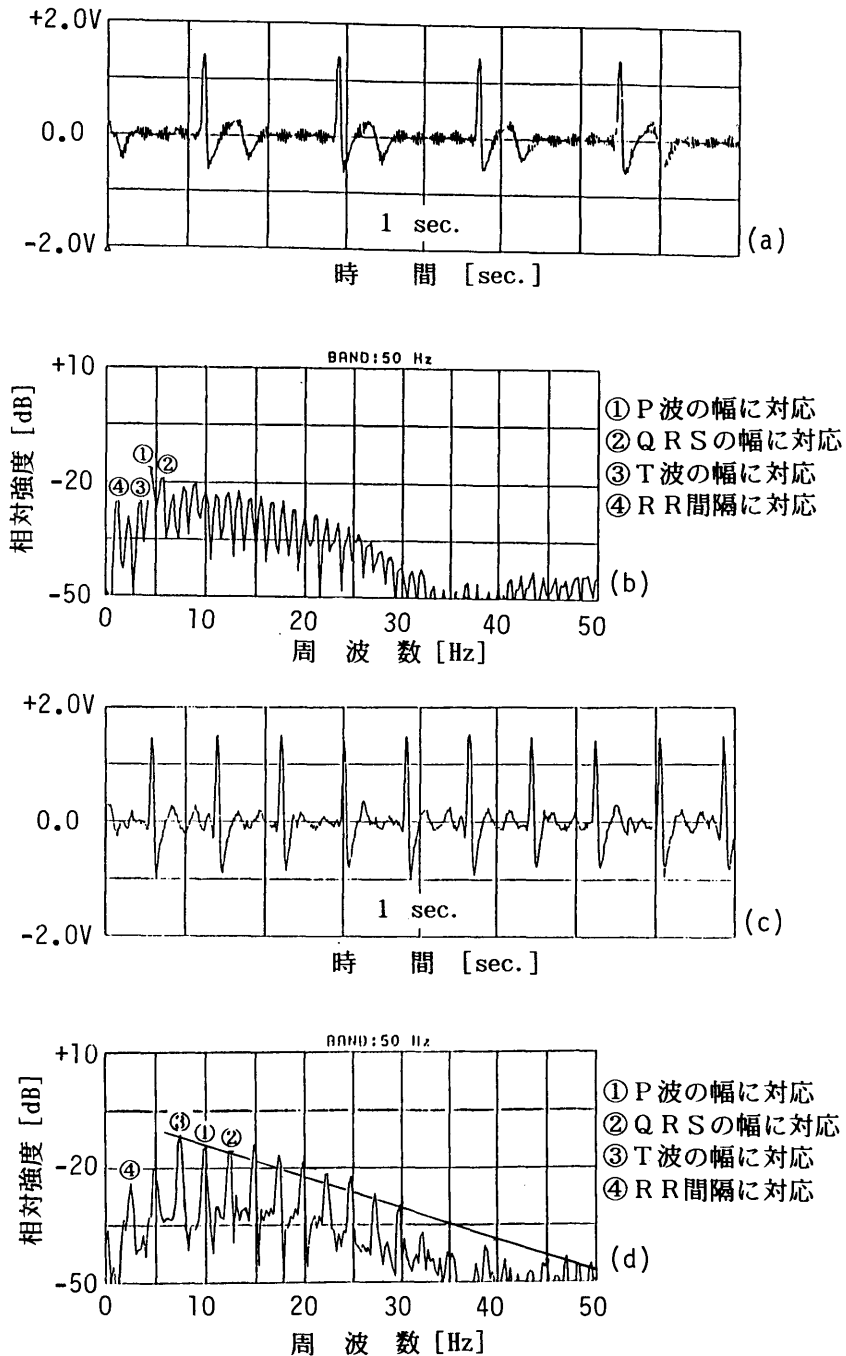


図4 運動負荷前（安静時）と運動負荷中の心電図波形及び波形分析の結果
被検者C（男性，21歳）；(a)安静時の心電図波形 (b)波形分析
(c) 運動負荷中の心電図波形 (d)波形分析の結果

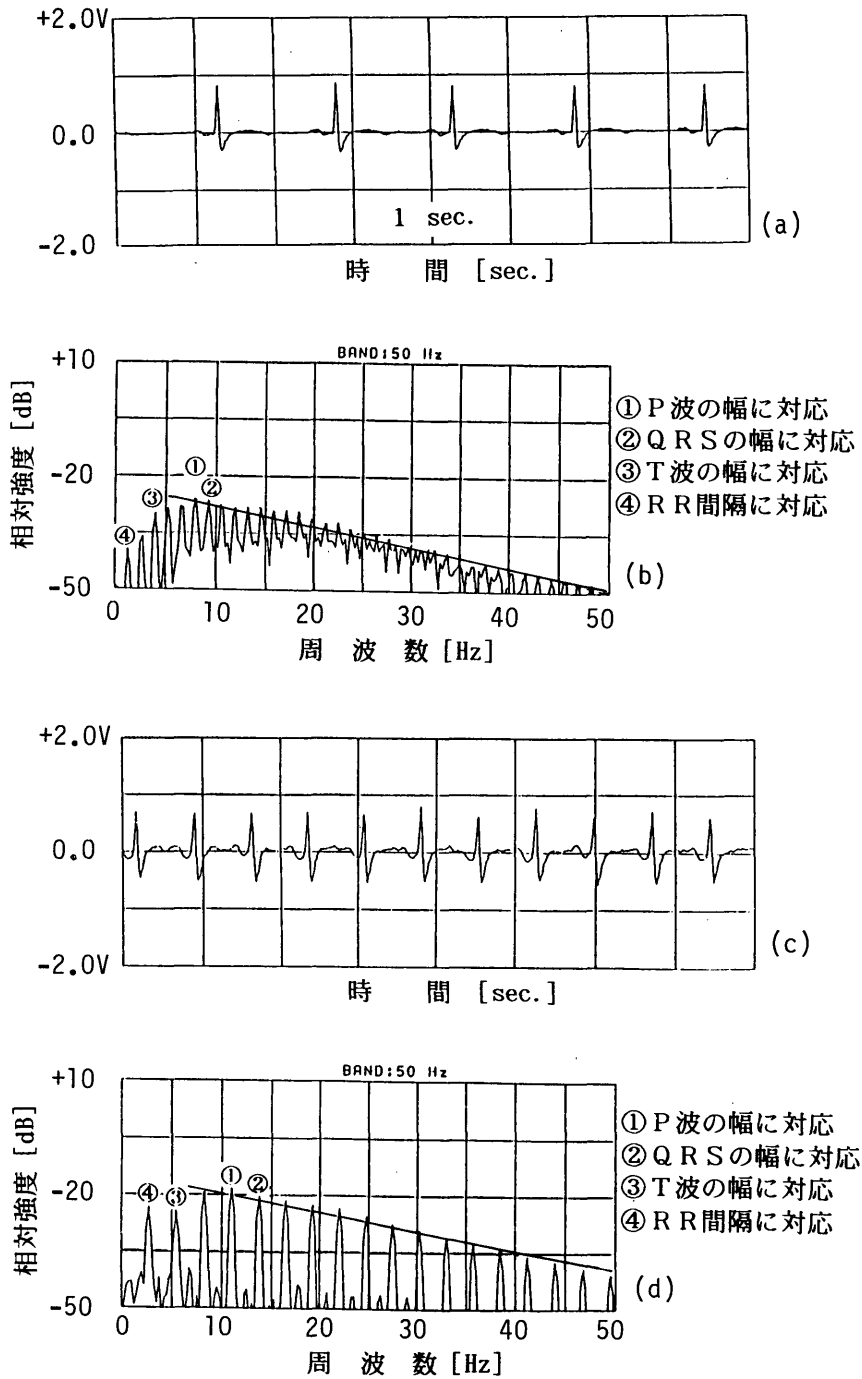


図5 運動負荷前（安静時）と運動負荷中の心電図波形及び波形分析の結果
被検者O（女性，21歳）：(a)安静時の心電図波形 (b)波形分析
(c) 運動負荷中の心電図波形 (d)波形分析の結果

個人差にもよるが、運動負荷時はP波、T波の活動電位は安静時より高くなっている。

図5—(a)～(d)は、O(21歳、女性)の運動前(安静時)及び運動負荷中の、心電図及びその波形分析の結果である。安静時及び運動負荷中の心電図の波形に関する事柄は、この被検者の安静時、T波の高さが低く出ていること以外は、前の男性の例と大差はない。安静時のRR間隔は0.77秒で、78回の心拍数に相当する。運動負荷中は安静時低かったT波及びP波も高くなり、運動負荷時の特徴を示している。運動中のRR間隔は0.36秒で、心拍数165[回/分]に相当し、安静時の2.1倍となる。今回の測定における女子学生の心拍数の増加は、1.8～2.2倍で、平均2.0倍であった。

波形分析の結果で、男性と最も異なる点は、図5—(d)に示すように、各スペクトルの強度が安静時も運動中も($1/f$)に比例して減少していることである。特に、運動負荷時の結果は顕著である。女性の被検者の場合、殆どの例でこのような結果を得た。

波形分析に全般について言えることは、①P波の幅、②QRSの幅、③T波の幅、及び④RR間隔に対応する周波数成分が、周波数の高い方に移行している。波形においては確認することが難しかったP波の幅の変化が、それに対応する周波数成分の移行という現象で、波形分析の中に顕著に現れている。図4の例では、安静時の周波数成分の約2倍の値として現れているが、全ての例でP波に対応する周波数成分の上昇が見られた。

運動負荷時の周波数スペクトルの特徴は、基本波成分に対する整数倍の波が明確に現れる点にある。かつ殆どの実験例で、各周波数成分に対するスペクトルの大きさが($1/f$)

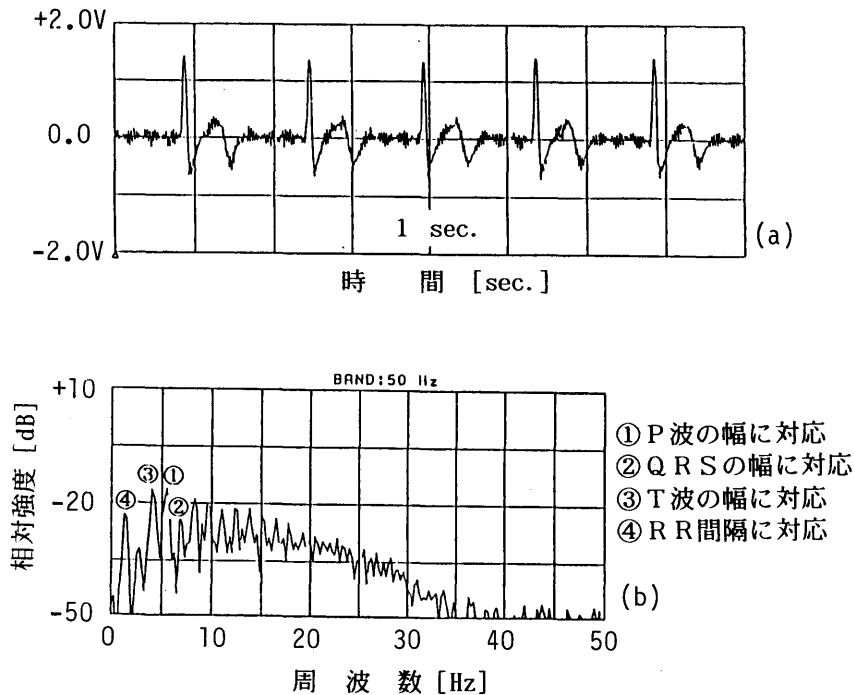


図6 情動負荷時の心電図波形及び波形分析の結果
被検者C(男性、21歳)；(a)情動負荷時の心電図波形
(b) 波形分析の結果

の形で減少する。 $(1/f)$ 雑音は、一般にホワイトノイズといわれるもので、最も自然な音の分析や乳幼児の睡眠時の心電図の波形分析に現れると言われている。このことと考え併せると、今回の結果は、自転車こぎというリズムミカルな運動負荷のために起こる現象であるのか、他の運動負荷でも起こるのか、意味づけも含めより詳細に検討する必要がある。

図6は被検者Cの、情動負荷としてコンピュータゲームを与えた場合の、心電図とその波形分析である。RR間隔は0.73秒で、1分間当りの心拍数に換算すると82回となり、この値は安静時の心拍数の約1.2倍となる。今回のこの調査は被検者が3人であり、データとしては少ないが、いずれのデータにおいても、ゲーム中に、心拍数が増加することを確認した。増加の程度は約1.2倍である。心電図の波形そのものは、繰り返しの周期が2割程度短くなった以外は、運動負荷の場合のような変化は見られない。

波形分析の結果では、T波に対応する③の成分が高く現れ、基本波の高調波以外の波が現れてくることが特徴であり、この点は、運動負荷時の場合と類似している。しかし、各スペクトルの強度は周波数に対して $(1/f^2)$ の減少傾向であり、むしろ安静時の場合と同様の傾向を示している。

コンピュータゲーム中、被検者はイスに掛け指先でコントローラを操作するだけであり、見かけ上の運動量は安静時とほぼ同じであると見なしうる。それにもかかわらず、心拍数が増加する。これは一種の精神的なストレスと考えるべきものであろう。運動負荷（身体的ストレス）と精神的ストレスの関係を、今後は波形分析と関係づけて考える必要がある。

5. む す び

本研究の結果を要約すると、

- (1) 運動負荷として自転車こぎを課した場合、安静時に比べ、心拍数は1.8～2.0倍増加する。また、P波及びT波の高さが高くなる。
- (2) 運動負荷を与えた場合、心電図波形の波形分析の結果は、安静時の場合に比べP波の幅、QRSの幅、T波の幅、RR間隔のそれぞれに対応する周波数成分が、周波数の高い方へ移行する。この移行の程度は、心拍数の増加の程度とほぼ等しい。
- (3) 運動負荷の場合、周波数 (f) と各周波数成分の大きさの関係は、ほとんどの場合 $(1/f)$ に比例する。この関係は女性の場合、特に顕著である。
- (4) 情動負荷としてコンピュータゲームを与えた場合、心拍数は安静時に比べ、1～2割増加する。周波数 (f) と各周波数成分の関係は、 $(1/f)$ に比例していない。

最後に、本研究に協力を得た、本学部元学生大浦健一君に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 山地啓司：心拍数の科学，大修館書店，第4版（1985年），P 8.
- (2) 加藤俊夫：ホルター心電図による不整脈の解析，交通医学，40-5，pp.319～322，1986.
- (3) 後藤ヨシ子，糸山景大：Heart Rate 反応からみた乳児の発達と母子相互作用，第35回日本小児保健学会講演集，F-20，1988.