

平成 12 年度
学士学位論文

異なる空間周波数刺激での
輝度インパルス応答

Luminous impulse response functions of stimuli
in different spatial frequencies.

1010436 平山 正治

指導教員 篠森 敬三

2001/02/05

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

異なる空間周波数刺激での 輝度インパルス応答

平山 正治

二刺激法を用いて、さまざまな空間周波数をもつ輝度グレーティング刺激に対するインパルス応答を測定した。刺激は空間的グレーティング刺激に Gauss 関数をかけたもの (Gabor 関数) を採用し、コントラスト閾値を実験によって求めた。刺激の空間周波数は単純なガウス関数 (0.43cpd) から 13.35cpd までの範囲で 10ヶ所を採用した。インパルス応答関数のモデル式として、最小位相を想定していない *Burr and Morrone* のモデル式 [1] を採用した。

視覚系の Magnocellular 経路や Parvocellular 経路の特性から、低空間周波数刺激の場合には比較的早いインパルス応答が得られ、高空間周波数刺激の場合では比較的ゆっくりとしたインパルス応答が得られると予想した。

我々はモデル式より予測されたインパルス応答関数の時間特性を比較した。結果は、被験者 2 人のデータがほぼ一致し、3cpd 付近の空間周波数をもつ刺激に対するインパルス応答が時間的に最も早いと言うデータが得られた。また、我々の予想に反し、高空間周波数側の方が低空間周波数側に比べて時間的に早いと言う結果となった。これは、視覚系に複数の空間周波数チャンネルが存在するということを示唆しており、我々の実験結果からは少なくとも 2 つの空間周波数チャンネルによる時間特性の変化が見られる。

キーワード インパルス応答関数, Parvo-cellular 経路, Magno-cellular 経路, 空間周波数チャンネル

Abstract

Luminous impulse response functions of stimuli in different spatial frequencies.

Masaharu Hirayama

We can measured a luminous impulse response function by double-pulse method. The stimuli were used achromatic gaussian patch with spatial grating, we measured the contrast threshold by a lots examinations.

The grating frequencies were chose 10 points between 0.43cpd and 13.35cpd. And we adopt the model suggetsted by Burr and Morrone without assumed minimum phase filter.

We assumed that the temporal property of impulse response function was changed by the effects of magno-cellular pathway or parvocellular pathway.

We compare the temporal property of the impulse response function we calculated. The result is that it is so similiary between two subjects. It's the fastest on the stimuli with 3cpd grating.

But contrary to our expectation, it is faster the high spacial frequencies stiluli than the low spacial frequencies stimuli.

This suggest that there are 2 or more channels of spatial frequency in our visual system.

key words Impulse Response Funciton, Magnocellular pathway, Parvocellular pathway, Spatial frequency channel

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	インパルス応答	1
1.1.1	閾値検出モデル	1
1.1.2	生体ノイズとコントラスト検出閾	2
1.1.3	閾値決定のメカニズム	2
1.2	従来のインパルス応答の研究	3
1.2.1	フリッカー感度関数から求める手法	3
1.2.2	二刺激法から求める手法	5
1.3	経路とチャンネル	7
1.3.1	Magnocellular 経路と Parvocellular 経路	7
1.3.2	時空間周波数チャンネル	8
1.4	実験の目的	9
第 2 章	実験手法	11
2.1	刺激	11
2.2	装置	12
2.3	測光	14
2.4	被験者	15
2.5	実験手順	15
2.6	データ解析手法	17
2.6.1	Burr and Morrone のモデル式	17
2.6.2	閾決定メカニズム	17
2.6.3	確率的足し合わせを考慮した閾検出モデル	17
2.7	モデルとデータの fitting	18

第 3 章	実験結果とデータ解析	21
3.1	被験者 M.H の実験結果と仮定されたインパルス応答関数	21
3.2	被験者 T.S のデータ解析	27
3.3	求められたパラメータ	33
第 4 章	考察	36
4.1	インパルス応答関数の時間特性	36
4.1.1	被験者の差	40
4.1.2	最速となる空間周波数	40
4.1.3	低空間周波数側のインパルス応答関数の時間特性	40
4.1.4	高空間周波数側のインパルス応答関数の時間特性	41
4.1.5	空間周波数チャンネルについて	41
4.2	インパルス応答関数の強度について	42
4.3	位相情報の損失について	43
4.3.1	最小位相の想定	43
4.3.2	受容野の時空間特性	44
4.3.3	コントラスト閾値のピーク	44
4.3.4	時間特性の比較は可能	45
第 5 章	結論	46
	謝辞	47
	参考文献	48
付録 A	色覚検査について	49
A.1	色覚検査表	49
A.2	パネル D-15 テスト	49

目次

1.1	閾値検出モデル	2
1.2	視覚系の MTF	4
1.3	MTF から求めたインパルス応答関数の自己相関関数	4
1.4	二刺激法の刺激呈示	5
1.5	二刺激光による足し合わせ	6
1.6	SOA と足し合わせ係数	7
1.7	時空間周波数領域でのチャンネルの概念図	8
1.8	実験対象範囲	9
2.1	刺激呈示の例	12
2.2	暗室の概略図	13
2.3	被験者の応答に用いたボタンスイッチ	14
2.4	刺激の時間的变化	16
2.5	実験データとモデル fitting	19
2.6	仮定したインパルス応答関数の例	20
3.1	M.H Gaussian の実験結果と解析	22
3.2	M.H 0.89cpd の実験結果と解析	22
3.3	M.H 1.34cpd の実験結果と解析	23
3.4	M.H 2.23cpd の実験結果と解析	23
3.5	M.H 3.12cpd の実験結果と解析	24
3.6	M.H 4.01cpd の実験結果と解析	24
3.7	M.H 4.90cpd の実験結果と解析	25
3.8	M.H 5.79cpd の実験結果と解析	25

3.9	M.H 8.46cpd の実験結果と解析	26
3.10	M.H 13.35cpd の実験結果と解析	26
3.11	T.S Gaussian の実験結果と解析	27
3.12	T.S 0.89cpd の実験結果と解析	28
3.13	T.S 1.34cpd の実験結果と解析	28
3.14	T.S 2.23cpd の実験結果と解析	29
3.15	T.S 3.12cpd の実験結果と解析	29
3.16	T.S 4.01cpd の実験結果と解析	30
3.17	T.S 4.90cpd の実験結果と解析	30
3.18	T.S 5.79cpd の実験結果と解析	31
3.19	T.S 8.46cpd の実験結果と解析	31
3.20	T.S 13.35cpd の実験結果と解析	32
4.1	比較する場所	37
4.2	被験者 M.H の時間特性	38
4.3	被験者 T.S の時間特性	39
4.4	刺激の空間周波数とインパルス応答の強度	42
4.5	受容野の時空間特性モデル	44

表目次

3.1	パラメータ (M.H)	34
3.2	パラメータ (T.S)	35

第 1 章

はじめに

本研究ではさまざまな空間周波数をもつ輝度刺激によって視覚系で生ずるインパルス応答を測定する。そこでまず、導入として一般的なインパルス応答について説明する。次に、これまでの研究で用いられた実験手法や、それによって求められたインパルス応答を例に挙げる。また、生理学的な視点から視覚系内の複数の時空間周波数チャンネルの存在や、2つの経路について説明する。

それらを説明した上で、本研究の実験目的について述べる。

1.1 インパルス応答

1.1.1 閾値検出モデル

視覚系の閾値検出システムを線形なシステムと仮定すると、入力信号 $I(t)$ が線形フィルタ LF を通過して出力信号 $R(t)$ となる。これにノイズ N が加わった後、閾値検出器 TD へ至る。図 1.1 に代表的な視覚系の閾値検出モデルを示す。

視覚系の線形フィルタ LF を n 段のローパスフィルタと仮定すると、インパルス応答 $H(t)$ は式 (1.1) で示される。

$$H(t) = \frac{1}{(n-1)!} \frac{A}{\tau} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{n-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\tau}\right)\right\} \quad (1.1)$$

A は比例定数、 τ は時定数である。

モデルの第一段階は線形要素で、その出力 $R(t)$ は $I(t)$ と $H(t)$ の畳み込み積分となり、

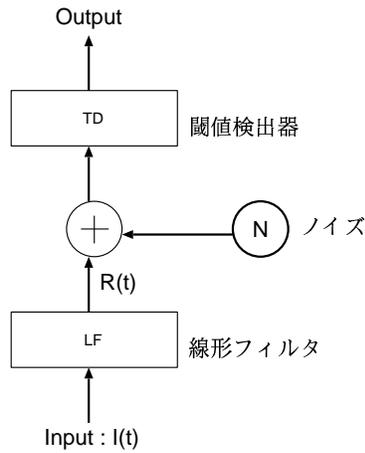


図 1.1 視覚系の閾値検出モデル

式 (1.2) で与えられる.

$$R(t) = \int_0^t I(t')H(t-t')dt' \quad (1.2)$$

1.1.2 生体ノイズとコントラスト検出閾

図 1.1 に示されるモデルの第二段階では線形要素の信号に生体ノイズが加算される. 生体ノイズは確率的な性質を持つので, 閾値検出器の入力と出力の関係は確率的過程として扱うことができる. 系全体の感度 S は式 (1.3) で与えられる.

$$S = \left[\int_0^T |R(t)|^\beta dt \right]^{1/\beta} \quad (1.3)$$

β はノイズ特性によって決定される定数である.

コントラスト検出閾 DT (Ditection Threshold) は, 感度 S の逆数で表されるので式 (1.4) となる.

$$DT = \frac{1}{\left[\int_0^T |R(t)|^\beta dt \right]^{1/\beta}} \quad (1.4)$$

1.1.3 閾値決定のメカニズム

閾値決定のメカニズムは Watson (1979) によって次のようなモデルが提案されている. 応答 $R(t)$ をある時間 t_1 に対する $R(t_i)$ のつながりとみなし, P_i をその時刻 t_i で $R(t_i)$ が

閾値を越える確率とする。どの時刻 t_i でも $R(t_i)$ が閾値を越えれば応答 $R(t)$ が検出されるとすると、 $R(t)$ の検出確率 P は P_i を用いて式 (1.5) で示される。但し、 r は chance level である。

$$P = 1 - (1 - r) \prod_i (1 - P_i) \quad (1.5)$$

確率 P_i は式 (1.6) の知覚確率曲線で表される。

$$P_i = 1 - (1 - r) \exp\{-|R(t_i)|^\beta\} \quad (1.6)$$

β は知覚確率曲線の傾きを示す。式 (1.6) を式 (1.5) に代入し、連続関数として表わすと

$$P = 1 - (1 - r) \exp\left\{-\int_0^T |R(t)|^\beta dt\right\} \quad (1.7)$$

T は $R(t) = 0$ となる時間で、検出確率 P は刺激光の強度 $I(t)$ の単調増加関数である。

1.2 従来のインパルス応答の研究

視覚刺激に対するインパルス応答はさまざまな手法で研究されてきたが、ここでは比較的多く用いられてきた代表的な 2 つの手法について説明する。1 つはフリッカーを使用した実験手法で、もう 1 つが二刺激光を使う実験手法である。

1.2.1 フリッカー感度関数から求める手法

フリッカー光の各周波数に対するコントラスト感度を測り、その逆数を取ると、時間的コントラスト感度関数 (temporal contrast sensitivity function) となる。得られたコントラスト感度関数をフーリエ逆変換することで、インパルス応答関数を求めることができる。

輝度変化の時間的 CFS は刺激光が十分に明るい条件ではバンドパス型を示し、暗くなるとローパス型を示すことが明らかとなっている。

また、空間周波数を持つ刺激に対しても実験されている。結果は、3cpd の刺激に対する CSF はローパス型を示すものであった。

図 1.2.1 に *Rashbass* の求めた MTF 曲線を示す [2]。また、図 1.2.1 の MTF から求めら

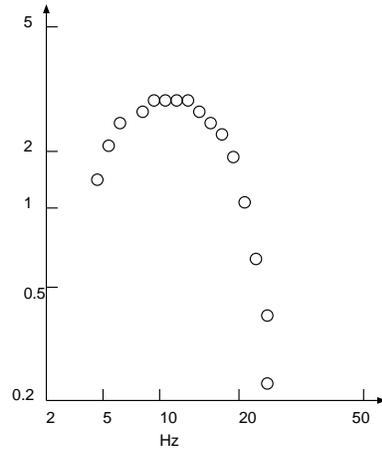


図 1.2 Rashbass の求めた視覚系の MTF：平方根を計算せず，そのまま対数でプロットしている．縦軸を半分にすればそのまま MTF となる．

れるインパルス応答の自己相関関数を図 1.2.1 に示す．縦軸 L_t は式 (1.8) である．

$$L_t = \int_0^{\tau} H(t)H(t + \tau)dt \quad (1.8)$$

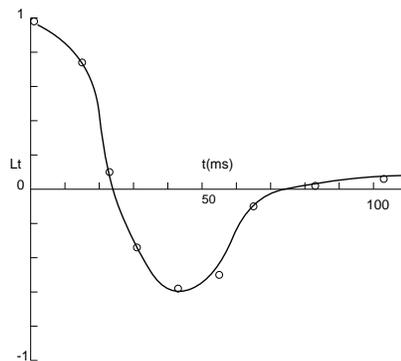


図 1.3 Rashbass の求めた視覚系の MTF から求められたインパルス応答関数の自己相関関数．

MTF(modulation transfer function) は，光学系の特性を表すために用いられる．視覚系の入口である眼球光学系において，点光源の像を PSF(point spread function 線像分布関数) という．点光源を $\delta(x, y)$ ，光学系による変換を $L\{\cdot\}$ で表すと，PSF は次のようになる．

$$h(x, y) = L\{\delta(x, y)\}$$

PSF のフーリエ変換を OTF(optical transfer function) といい，その絶対値を MTF，位相を PTF(phase transfer function) という．OTF は式 (1.9)，MTF は式 (1.10)，PTF は式

(1.11) で表される.

$$\begin{aligned} H(u, v) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \exp\{-i2\pi(xu + yv)\} dx dy \\ &= M(u, v) \exp\{i\phi(u, v)\} \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$M(u, v) = |H(u, v)| \quad (1.10)$$

$$\phi(u, v) = \arg\{H(u, v)\} \quad (1.11)$$

空間周波数 u の正弦波が光学系を通して結像されたときの、像のコントラスト低下が MTF を意味し、像の横ずれが PTF を意味している.

MTF の逆数がコントラスト閾値を示すので、そこからインパルス応答を求めることができる.

1.2.2 二刺激法から求める手法

二刺激法は、ある時間間隔において呈示される 2 つの刺激光を用いて視覚系の足し合わせ機能を測定する方法である. 刺激呈示には図 1.2.2 に示されるような形状を用いることが多い.

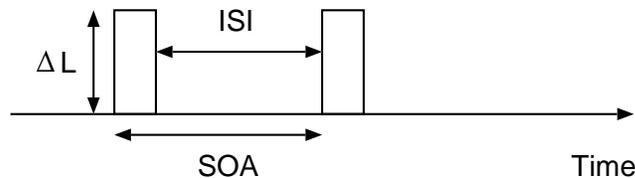


図 1.4 二刺激法の刺激呈示例: SOA は first flash の立ち上がりから second flash の立ち上がりまでの時間間隔. ISI は first flash の立ち下がりから second flash の立ち上がりまでの時間間隔である.

また、二刺激光による足し合わせの概略図を図 1.2.2 に示す.

Uchikawa and Yoshizawa[3] は二刺激法の手法を応用し、さまざまな SOA(Stimulus Onset Asynchrony) を持つ 2 つの輝度刺激を用い、時間的足し合わせ機能を測定した.

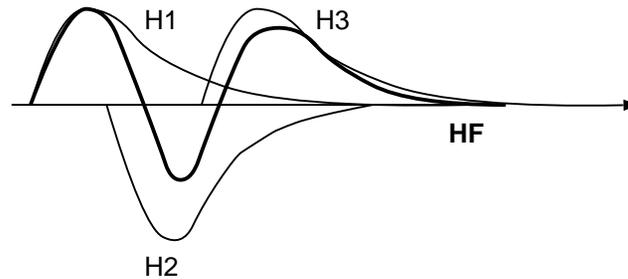


図 1.5 二刺激光による足し合わせ機能の概略：H1 は first flash による応答．H2 は H1 からの抑制相．H3 は second flash による応答である．太線は足し合わされた結果で，これが視覚系全体としての応答となる．

二刺激法では 2 つの刺激光を用い，視覚系の時間的足し合わせ特性を測定する方法である．SOA がそれほど大きくない場合，2 つの刺激光の相互作用により，足し合わせや抑制をより直接的に測定することができる．輝度刺激による 2 刺激光での足し合わせ係数と SOA の関係を図 1.6 に示す．足し合わせ係数 (Summation Index) は 2 つのパルス刺激の足し合わせを示している [5]．

$$\begin{aligned} \text{summation index} &= -\log[(r_1 + r_2)/2] \\ r_1 &= \Delta L(\text{test1})/\Delta L(\text{test1, single}), \\ r_2 &= \Delta L(\text{test2})/\Delta L(\text{test2, single}), \end{aligned}$$

Uchikawa and Yoshizawa の研究から，一般に色度刺激に対する応答は時間的に長く足し合わされローパスフィルタ特性を持ち，一方，輝度刺激に対する応答では足し合わせ時間は短くバンドパスフィルタの特性を持つことが分かっている．バンドパス型を示すことから，インパルス応答関数は抑制部分を持つことが明らかとなった．

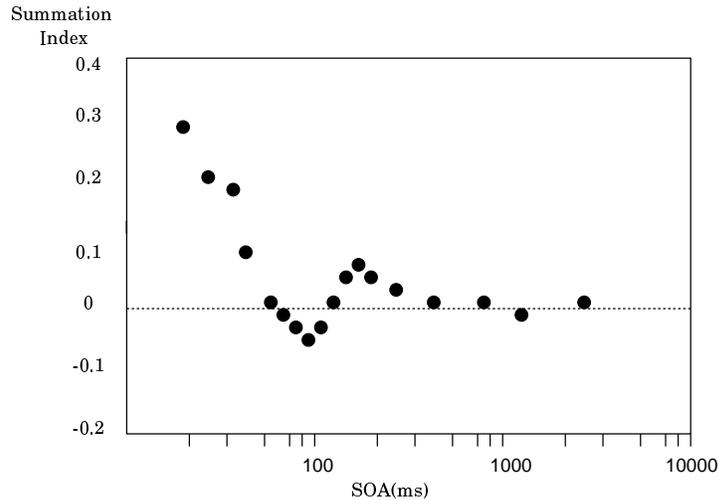


図 1.6 輝度刺激を用いた 2 刺激光による足し合わせ係数と SOA の関係。横軸に SOA(ms)，縦軸に Summation Index を示す。

1.3 経路とチャンネル

1.3.1 Magnocellular 経路と Parvocellular 経路

足し合わせ時間の違いは，網膜上の錐体や桿体からの信号が輝度チャンネルと色チャンネルへと送られる過程にも原因がある。

Magnocellular 経路は，網膜上のパラソル神経節細胞から外側膝状体 (LGN) の大細胞層に繋がることで形成されている。パラソル神経節細胞は樹状突起が広いのが特徴で，比較的大きな受容野を形成している。

Parvocellular 経路は，樹状突起範囲が狭いミジェット神経節細胞が小細胞層に繋がることで形成されている。

Magnocellular 経路を形成するパラソル細胞は時間分解能が高く，空間分解能が低い。Parvocellular 経路を形成するミジェット細胞は空間分解能が高く，時間分解能が低い。また，ミジェット細胞は色対立型と呼ばれる反応型を示すので，色覚の情報は Parvocellular 経路を經由して LGN へ伝えられていることが分かっている。

足し合わせ時間の違いは，これら Magnocellular 経路と Parvocellular 経路の時間特性の

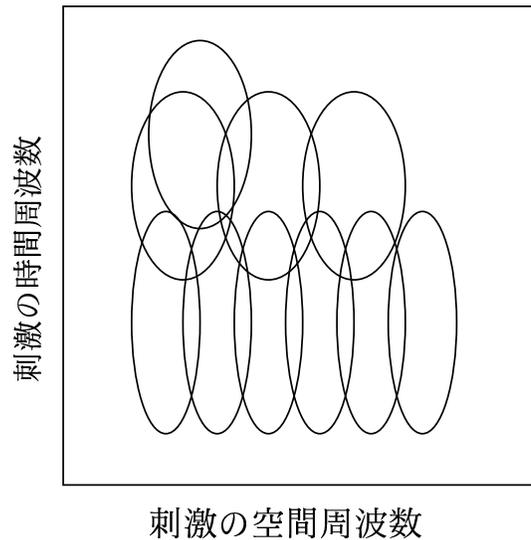


図 1.7 時空間周波数領域でのチャンネルの概念図

影響も受けると考えられる。

1.3.2 時空間周波数チャンネル

人間の視覚系の空間周波数チャンネルが複数あるのか (多重チャンネルモデル), またある範囲で連続的に感度に変化する機構が存在するのかまだ明確ではない。

時間周波数チャンネルにも空間周波数特性があるため, 空間周波数チャンネルと時間周波数チャンネルを独立して扱うことはできない。図 1.7 に時空間周波数領域に, 最大感度を持つ位置の異なるチャンネルの概念図を示す。時間的に低周波の領域には多くの空間周波数チャンネルが存在し, 高周波領域には 2 つ, もしくは 3 つのチャンネルしかないとされている [4]。

空間周波数チャンネル特性については多くの場合, テスト刺激や順応刺激の周波数に感度のピークをもつ特性が得られるため, チャンネルの数を決定するのは難しい。

時間周波数チャンネルについては, テスト周波数とは異なる周波数に感度の最大を持つマスク関数が得られるため, 2 ないし 3 という比較的少ない数のチャンネルが存在するという結論が得られている [4]。

1.4 実験の目的

これまで述べてきたような視覚刺激に対する経路やチャンネルの違いによって、空間周波数を持つ輝度刺激に対するインパルス応答関数が変化するのではないかと推測した。

まず最初に考えられるのが、Magnocellular 経路と Parvocellular 経路の特性によるインパルス応答の時間特性の分離である。

低空間周波数刺激では Magnocellular 経路によって媒介されるため、インパルス応答が早くなり、高空間周波数刺激では Parvocellular 経路によって媒介させるため、インパルス応答はゆっくりとなるのではないかと推測した。

次に考えられるのが、時空間周波数チャンネルである。本研究では、時間周波数は一定で刺激の呈示は 6.67ms を採用している。また空間周波数をパラメータとし 0.43cpd から 13.35cpd を採用している。今回我々の実験対象となるのは図 1.4 の部分である。図 1.4 には、具体的な数字は示されていないが、高時間周波数では 3 つほどの異なる空間周波数チャンネルが存在し、実験データ解析によって空間周波数チャンネルが 2 ないし 3 つ存在していることを確認できるのではないかと考えた。

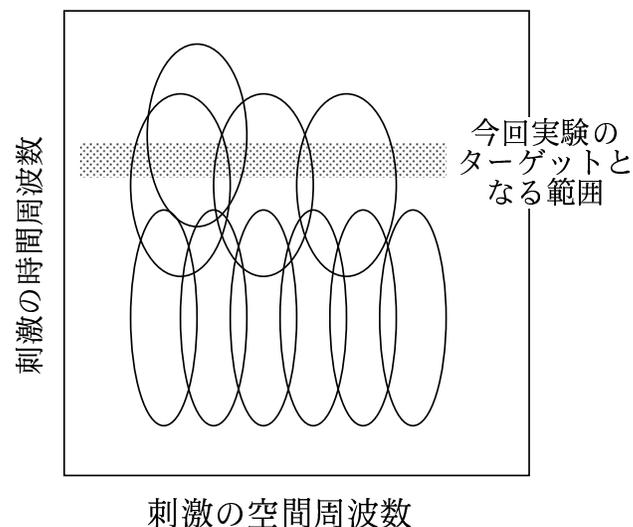


図 1.8 実験の対象となる部分は網掛の部分である。

今回の実験で我々が採用した ISI は 6.67ms から 180.14ms の範囲である。図 1.6 より、2

刺激光の SOA はおおよそこの範囲で足し合わせが起こると期待される。

また、実験刺激には空間周波数を与えるため輝度格子縞を採用したが被験者の眼球運動によって網膜上の格子縞が乱れるのを極力防ぐために、格子縞は固視点方向に斜め 45° 傾ける工夫を施した。

本研究では二刺激法により、いろいろな空間周波数を持つ輝度グレーティング刺激での輝度インパルス応答を求め、その時間特性を各空間周波数で比較することを目的とした。その結果を報告する。

第 2 章

実験手法

ここでは、実験に用いた刺激や装置、被験者、実験手順の詳細について説明する。また、実験データをどのように解析したかについても説明する。

2.1 刺激

刺激には、ある空間周波数を持つ輝度グレーティングに全周方向のガウス関数の包絡線をかけたもの (これを Gabor 関数という) を使用した。このような刺激を使用したのは、刺激のエッジをぼかし、被験者が刺激のエッジで検出するのを避けるためである。刺激サイズはガウス関数の SD 直径が視角 3.34° である。刺激の色度点は背景から変化させていない。刺激の中心から固視線までの距離は視角 $2.81^\circ \times \sqrt{2}$ である。first flash と second flash の ISI はディスプレイのフレーム数で定義した。ディスプレイの周波数は 150Hz と設定したので、1 frame = 6.67ms となる。ISI は 6.67, 20.02, 26.69, 40.03, 46.70, 60.05, 66.72, 80.06, 86.74, 100.08, 120.10, 140.11, 160.13, 180.14ms を採用した。図 1.6 より、おおよそこの範囲で足し合わせが起こることが期待される。刺激の呈示時間 (duration) は first flash, second flash とともに 1 frame = 6.67ms を採用した。

ディスプレイの背景は、等エネルギー $(x, y) = (0.333, 0.333)$ で、輝度は $10\text{cd}/\text{m}^2$ である。

刺激の空間周波数には Gaussian(0.43), 0.89, 1.34, 2.23, 3.12, 4.01, 4.90, 5.79, 8.46, 13.35cpd を採用して実験を行なった。この空間周波数を選ぶに当たって、我々はおおよそ対数倍になるように配慮した。また、3cpd から 6cpd の範囲は 1cpd の間隔をとるようにし、

細かいデータ点を取るようにした。

実験中，ディスプレイには固視線が常時呈示されており，実験中被験者はこれを注視する。しかし，それでも被験者の眼球運動が問題となる場合がある。実験には格子縞を使用するため，高空間周波数ではその影響が大きくなり，刺激の波形形状が網膜上で大きく乱れる可能性がある。我々はこうした影響を極力無くすため，刺激の格子縞の縞が固視点を向くように斜め 45° 傾けている。この傾きは被験者の眼球運動の方向と一致しており，もし眼球が無意識に呈示された刺激の方向へ動いたとしても，網膜上の格子縞はあまり変化しないだろうと考え，この手法を採用した。

刺激呈示の様子を 12 ページの図 2.1 に示す。

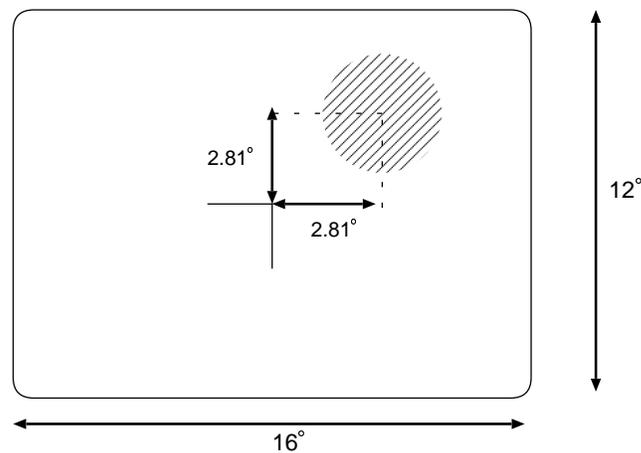


図 2.1 刺激呈示の例

2.2 装置

実験に使用した刺激は VSG2/3(Cambridge Research Systems) によって生成され，呈示装置には BARCO モニター (CCID-121) を使用した。

実験場所は高知工科大学教育研究棟 A3 階にある暗室 A356 を使用した。暗室内に，図 2.2 に示すような実験ブースを設置し，そこで実験は行なわれた。暗室内に設けられた実験ブースは高さ 180cm，横 270cm，幅 90cm であり，ファンダ材や厚さ 5mm の黒色ボード

板で作られている。実験ブース内には刺激呈示装置 (ディスプレイ) と被験者、被験者の頭を固定するための顎台、そして必要な光学系を設置することが可能であるように設計されている。刺激生成のための VSG2/3 を組み込んだ PC はブースの外に置かれ、実験者はブースの外で実験を操作する。実験ブースは被験者の左面のみ暗幕で覆われ、その他の面は全て黒色ボード板によって遮光されている。

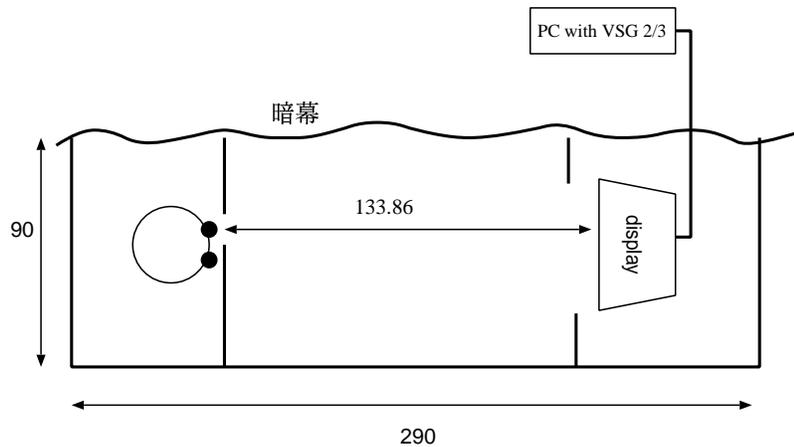


図 2.2 暗室の概略図。単位は cm

被験者からモニターのフレームが見えないよう、モニターに覆いを装着している。被験者は視距離 133.86cm の位置からモニターを注視する。実験中、被験者の頭が動かないように被験者の頭は顎台で固定されている。実験は片眼自然視で行ない、レンズ系は一切使用していない。

被験者の応答には、14 ページの図 2.3 に示すようなボタンスイッチを用いた。ディスプレイ呈示位置とボタンスイッチには次のような対応関係があり、被験者はボタンを押すことでディスプレイのどの位置に刺激が呈示されたかを応答する。

- ディスプレイ左上 = A ボタンを奥に押す
- ディスプレイ左下 = A ボタンを手前に押す
- ディスプレイ右上 = C ボタンを奥に押す

- ディスプレイ右下 = C ボタンを手前に押す

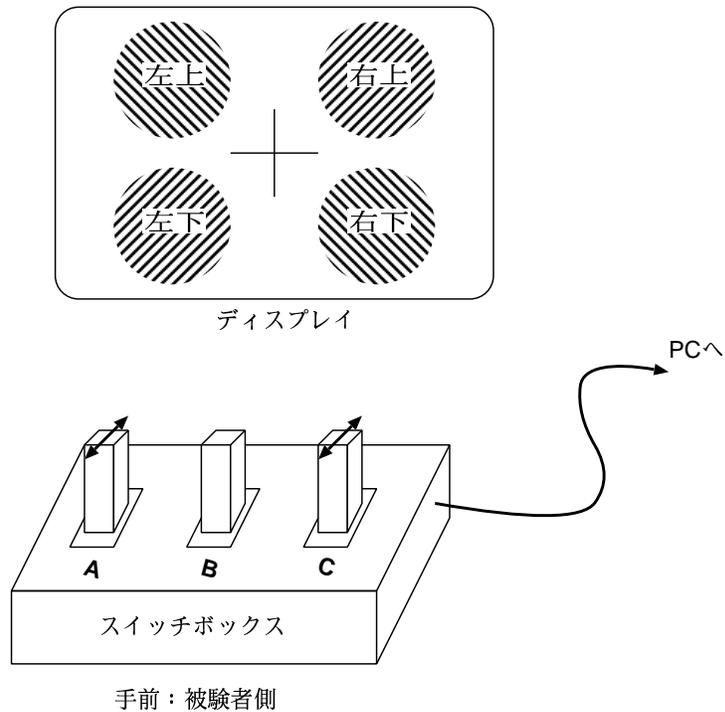


図 2.3 被験者の応答に用いたボタンスイッチ：実験には A と C のボタンのみを使用。B のボタンは実験の強制終了に割り当てられているが，今回の実験中には使われることは無かった。

2.3 測光

実験の前に，測光を行なった。特に刺激呈示装置であるディスプレイは正確に測光を行ない，調節する必要があった。ディスプレイの輝度は画面の 9ヶ所で測光した平均値を採用した。相対輝度は *Optical*(Cambridge Research Systems) により測光し，絶対輝度は LS-100(Minolta) 及び CT-1000(Minolta) を用いて測光を行なった。また，刺激の色度点についても CS-1000(Minolta) により測光を行なった。

2.4 被験者

被験者は2人で、M.H(22years, Male)とT.S(21years, Male)である。実験にはM.Hは左目を、T.Sは右目を使用した。実験で使用した目の視力はM.Hは1.5弱(コンタクトレンズにより矯正)、T.Sは2.0(裸眼)でともに実験に当たって問題はない。また、実験に際して、2人には色覚テストを受けてもらい、色覚正常であることを確認した。色覚テストには以下の2つを使用した。

- 石原式 Plate
- D-15

また、この実験に関して被験者T.Sはナイーブな被験者である。

2.5 実験手順

刺激の呈示には二刺激法を採用した。実験の流れは次の通りである。

1. 被験者は実験ブース内にて5分間、暗順応を行なう。この時、暗室内は照明を消されているので実験ブース内はほぼ暗黒である。
2. 5分後ブザーが鳴り、ディスプレイに背景のみが呈示される。被験者は顎台に頭を固定しディスプレイの光に対して順応する(前順応)。この前順応も5分間行なう。
3. 暗順応5分間、前順応5分間、合計10分間の順応が終了するとブザーが鳴る。被験者がボタンスイッチを押すと実験が開始される。
4. 約30分の実験が終了するとブザーが鳴り、そこで1セッションの実験が終了する。

1つの空間周波数に対し、同じ条件で実験を4回行なう。実験は、順応から実験終了まで通してすべて自動化されている。

ディスプレイに呈示される刺激の時間的变化を図2.4に示す。

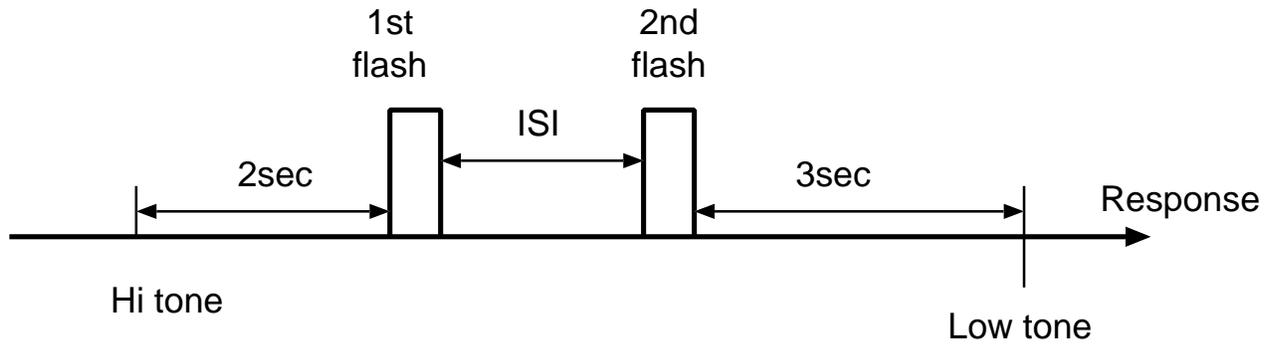


図 2.4 ディスプレイに呈示される刺激の時間的变化

被験者の応答には 4AFC を採用した。刺激である 2 つの flash は、ランダムに選ばれたディスプレイの 4ヶ所のうち 1ヶ所に継時的に呈示される。被験者はディスプレイのどの場所に刺激が呈示されたのかをボタンスイッチを押すことで応答する。

呈示される刺激の輝度レベルは階段法 (two-down one-up) を用いて変化させた。この時、first flash と second flash の輝度は常に同じに変化する。刺激の輝度レベルの変化は $0.005(\log cd/m^2)$ step で変化させた。また、最初の 2 つ目の reversal(上昇系列と下降系列の変曲点) までは、それ以降の 5 倍量 ($0.025\log cd/m^2$) 輝度レベルが変化する。閾値には 3 から 6 回目の reversal における刺激輝度の幾何平均値を採用した。

階段法 (two-down one-up) を具体的に説明する。ある ISI において、被験者の応答が 2 回連続して正しければ、次にその ISI の刺激が呈示される時、刺激の輝度レベルは 1 段階下げられる。もし被験者の応答が間違えば、次にその ISI の刺激が呈示される時に輝度レベルは 1 段階上げられる。

1 つの空間周波数において 4 セッション実験を行ない、その 4 セッションの幾何平均値をコントラスト閾値とした。実験データがエラーと見なされるような場合は必要に応じて追加実験を行なった。

2.6 データ解析手法

2.6.1 Burr and Morrone のモデル式

実験により、ある空間周波数を持つ輝度グレーティング刺激に対するコントラスト閾値の平均値を得ることができる。これは図 2.5 中に \times で示されている。

今回、我々は *Burr and Morrone* のモデル式 (2.1) を採用し、インパルス応答関数を仮定した。

$$I(t) = a_0 H(t) \sin\{2\pi[a_1 t(t+1)^{-a_2}]\} \exp(-a_3 t) \quad (2.1)$$

但し、インパルス応答 $H(t)$ は以下のようなになる。

$$H(t) = 0, \quad t < 0;$$

$$H(t) = 1, \quad t \geq 0;$$

2.6.2 閾決定メカニズム

次に、閾決定メカニズムを式 (2.2) で仮定する。

$$p = 1 - (1 - r) e^{-\left[\int_0^T |R(t, \tau)|^\beta dt \right]} \quad (2.2)$$

p は検出確率 (Proportion of detection) であり、刺激光の強度 $I(t)$ の単調増加関数である。式 (2.2) において、 r は false alarm パラメータで、本実験においては 4AFC を採用しているので $r = 1/4$ となる。また、刺激の輝度レベルを階段法 (two-up one-down) によって変化させているので、 $p = \sqrt{2}/2$ となる。

2.6.3 確率的足し合わせを考慮した閾検出モデル

$R(t, \tau)$ は次のように定義される。

$$R(t, \tau) = k(I(t) + I(t + \tau))$$

k は flash の強度である。ある $ISI=\tau$ をおいて呈示された 2 刺激による視覚応答 $R(t)$ は、ある時間 t におけるインパルス応答関数 $I(t)$ と、時間 $t+\tau$ におけるインパルス応答 $I(t+\tau)$ を加算したものである。今回の実験では、式 (2.2) において $\beta = 4.00$ を仮定した。ただし、この仮定には刺激呈示時間によって変化しないと言う定常性の仮定がなされている。

2.7 モデルとデータの fitting

実験データから得られた閾値の平均値 (図 2.5 の \times) と、ある係数セット a_0, a_1, a_2, a_3 を仮定したときに式 (2.1) から得られたインパルス応答関数を式 (2.2) に代入することによって計算されたモデルの閾値の差の 2 乗和が最小になるような a_0, a_1, a_2, a_3 をニュートン法により求める。

この差を最小とする a_0, a_1, a_2, a_3 の値を用いて式 (2.1) より求めた関数 $I(t)$ を、その条件におけるインパルス応答関数と仮定した。例を図 2.6 に示す。これらのデータ解析には Microsoft Excel97 を使用した。

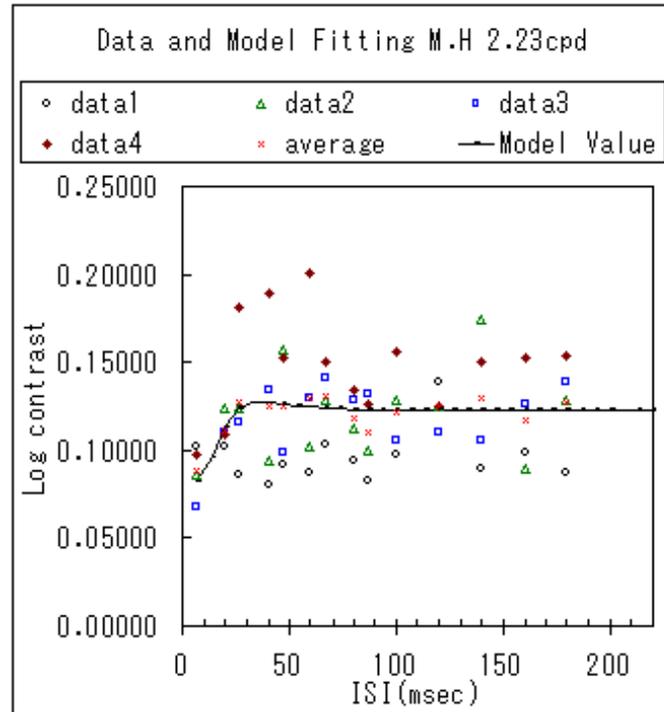


図 2.5 実験データとモデル値の例：シンボルが実験の各セッションで求められたデータ点を示し，直線はモデルから求められた値である．縦軸を log コントラスト，横軸に ISI(ms) をとっている．

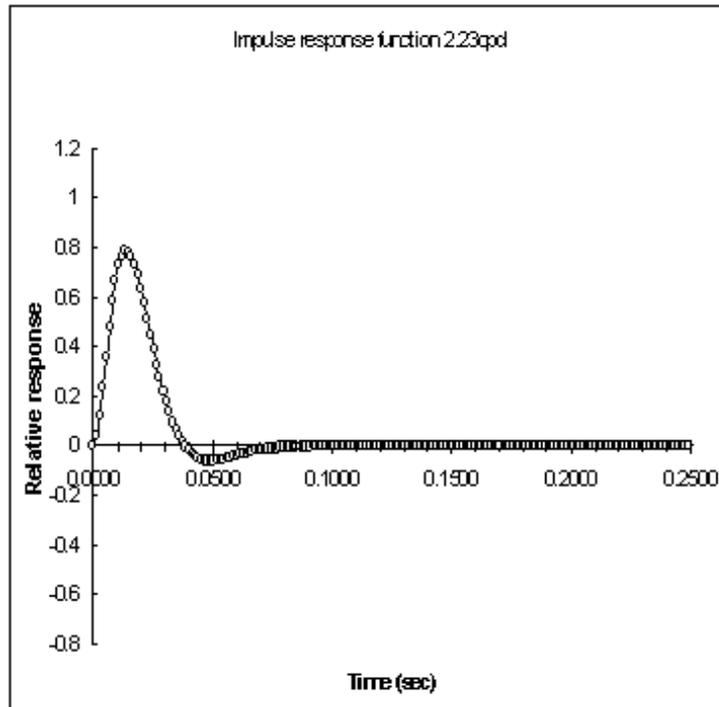


図 2.6 実験データとモデル値の最小 2 乗和を満たす a_0, a_1, a_2, a_3 を用いて仮定したインパルス応答関数 $I(t)$ の例：横軸に時間を取り，縦軸に強度をとっている。

第 3 章

実験結果とデータ解析

実験により求められたコントラスト閾値とモデル fitting を示す。また、そこから予測されるインパルス応答関数についても同時に示す。それぞれの空間周波数において求められたインパルス応答関数のパラメータを被験者 M.H については 34 ページの表 3.1 に、被験者 T.S については 34 ページの表 3.2 に示す。

3.1 被験者 M.H の実験結果と仮定されたインパルス応答関数

被験者 M.H の実験結果を示す。実験により求められたのは、ある空間周波数を持つ輝度グレーティング刺激に対するコントラスト閾値であり、図の左側にシンボルで示される。そこから仮定されたインパルス応答関数を右側に示す。

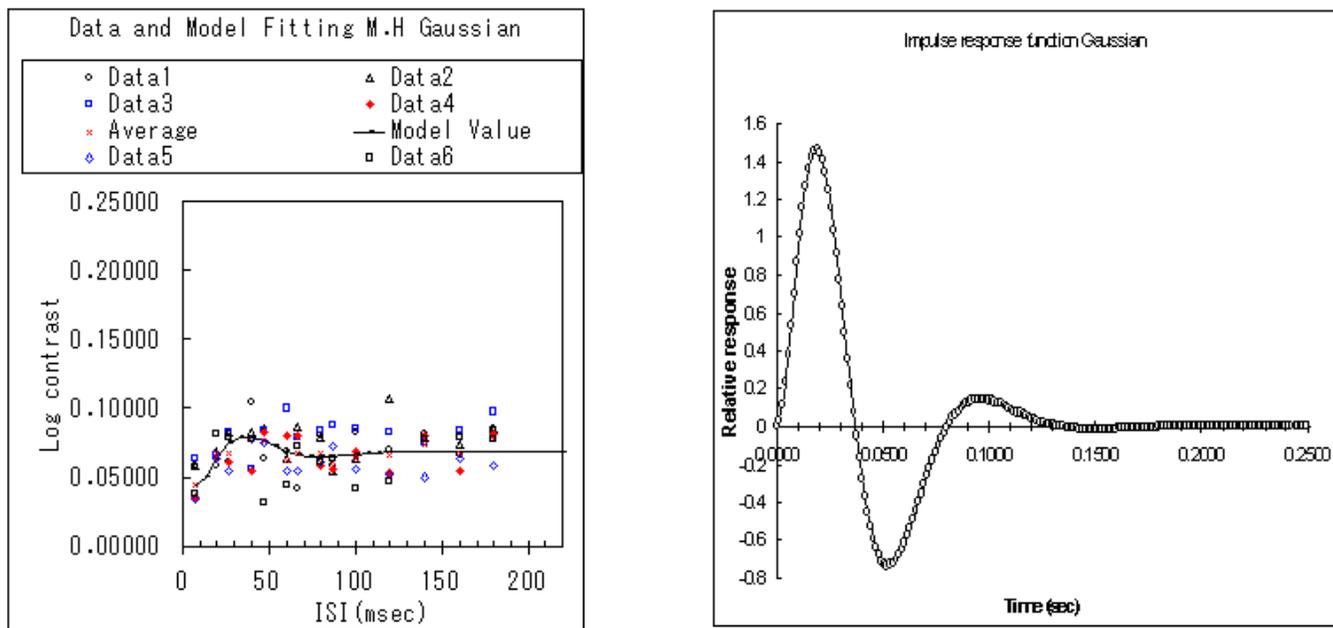


図 3.1 M.H Gaussian の実験結果と解析：この実験に限り，6 セッション行なった．3 セッション目の実験結果はばらつきが大きかったのでエラーとみなした．平均値には 1, 2, 4, 5, 6 セッションの平均をとった．

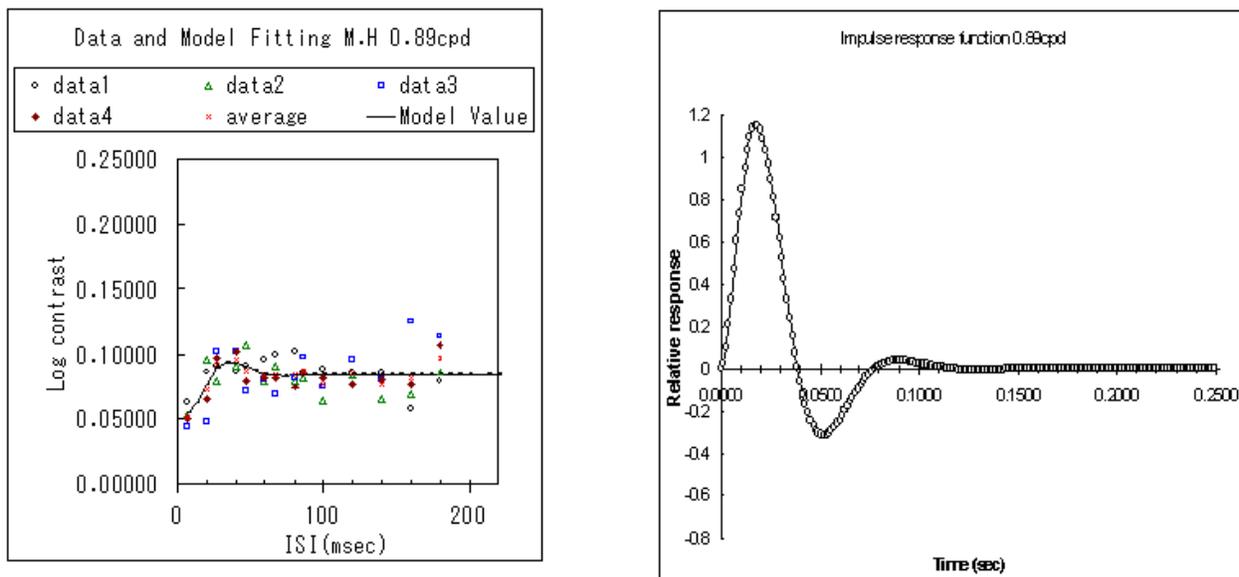


図 3.2 M.H 0.89cpd の実験結果と解析

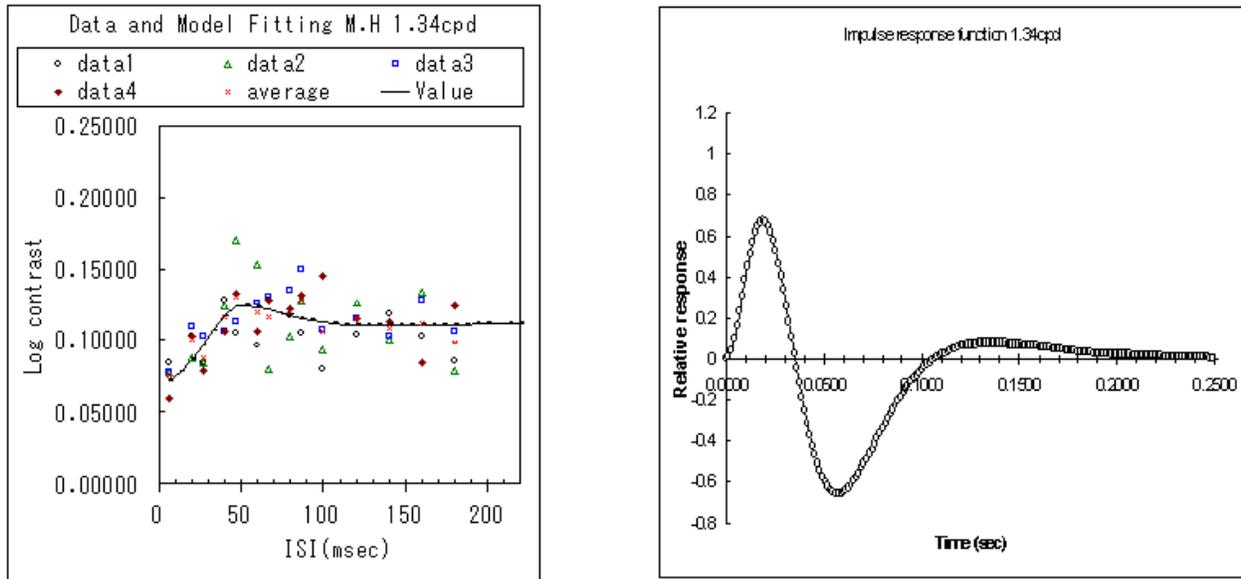


図 3.3 M.H 1.34cpd の実験結果と解析

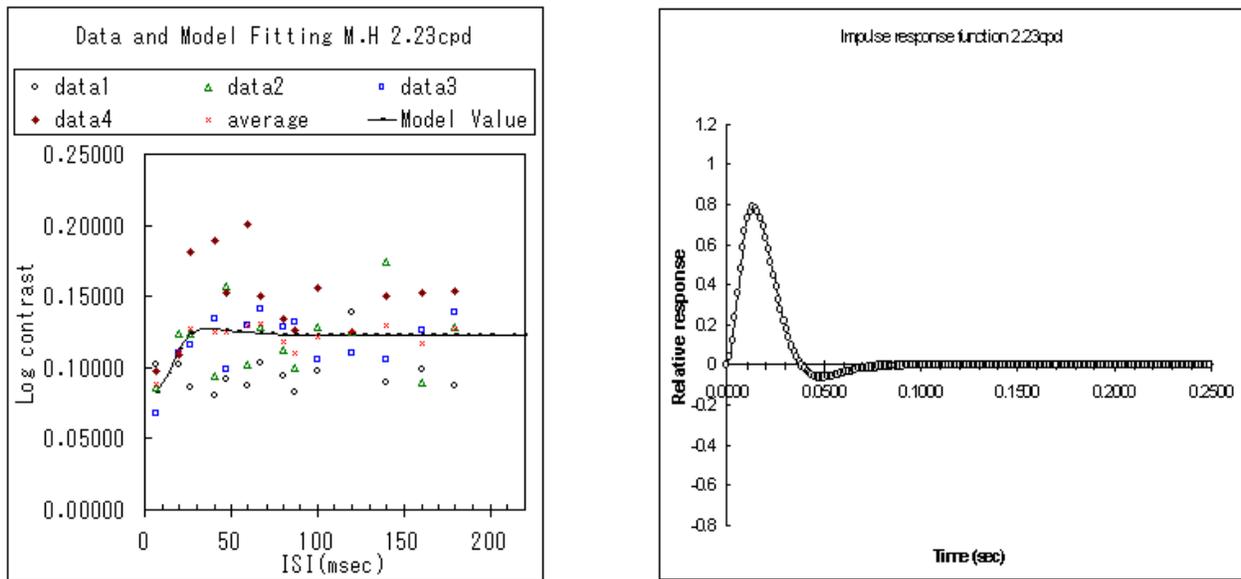


図 3.4 M.H 2.23cpd の実験結果と解析

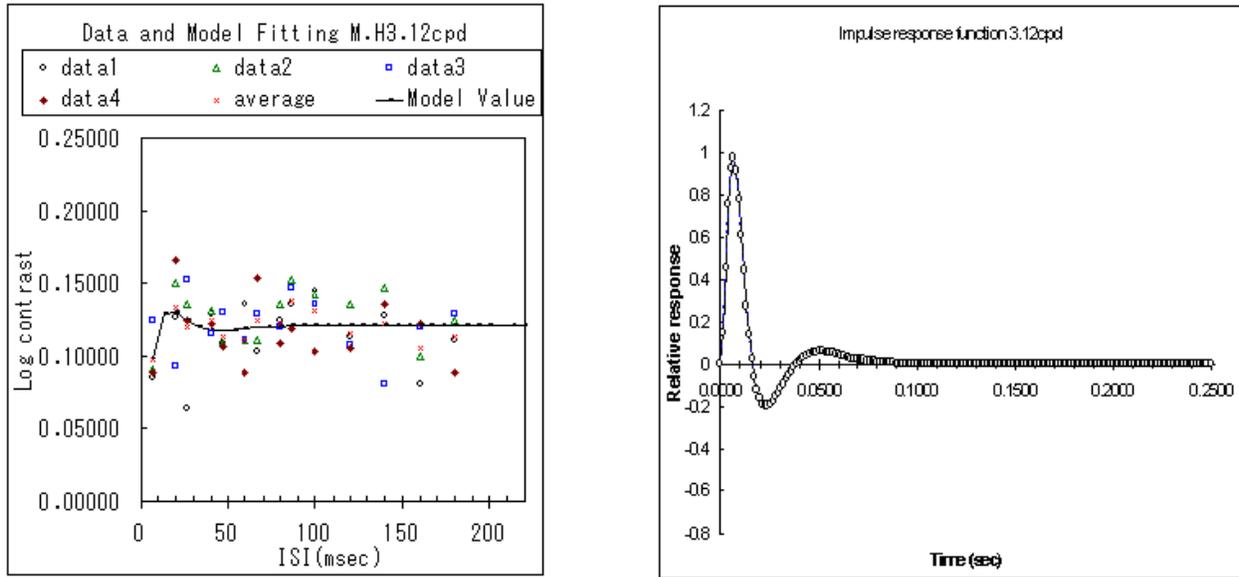


図 3.5 M.H 3.12cpd の実験結果と解析

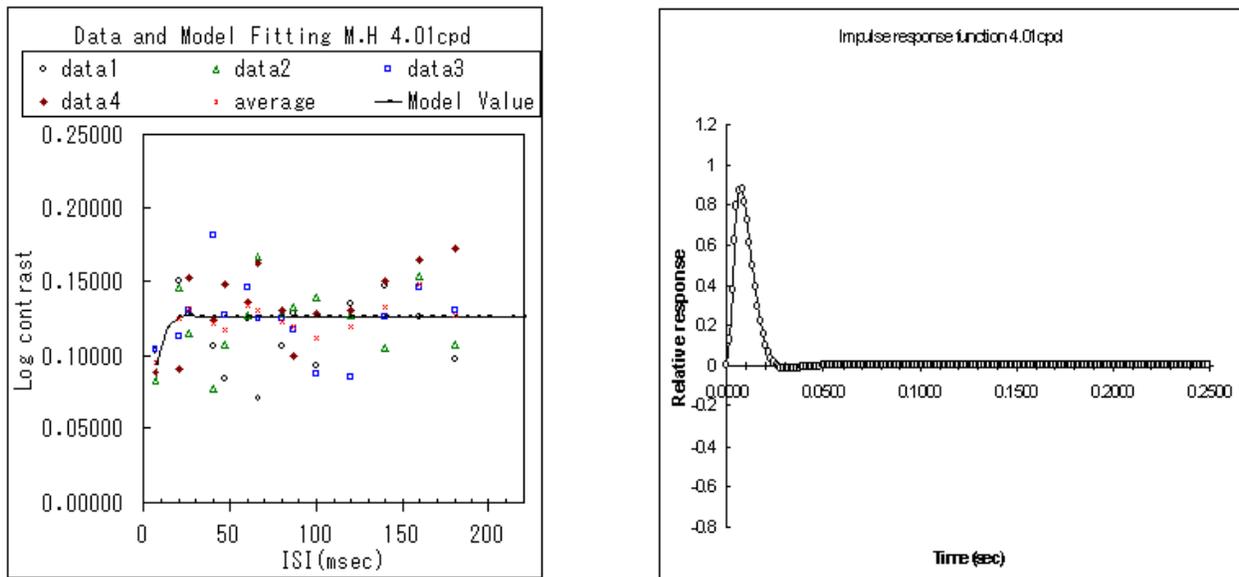


図 3.6 M.H 4.01cpd の実験結果と解析

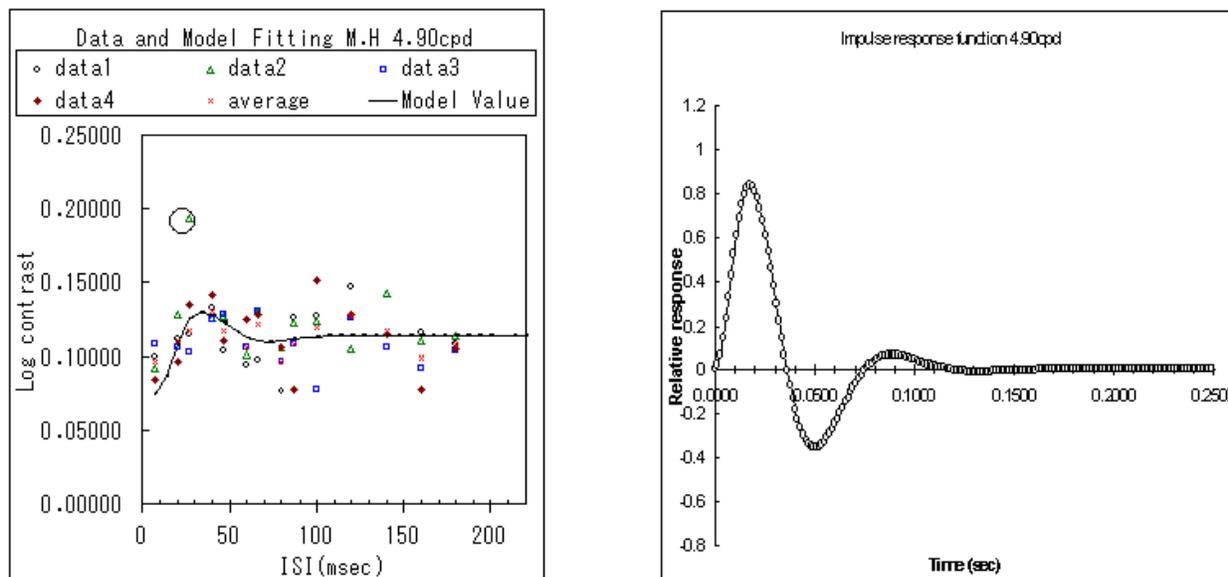


図 3.7 M.H 4.90cpd の実験結果と解析：2セッション目の ISI = 26.69ms(左図中の○で囲まれた△印) はエラーとみなし，平均には加えていない。

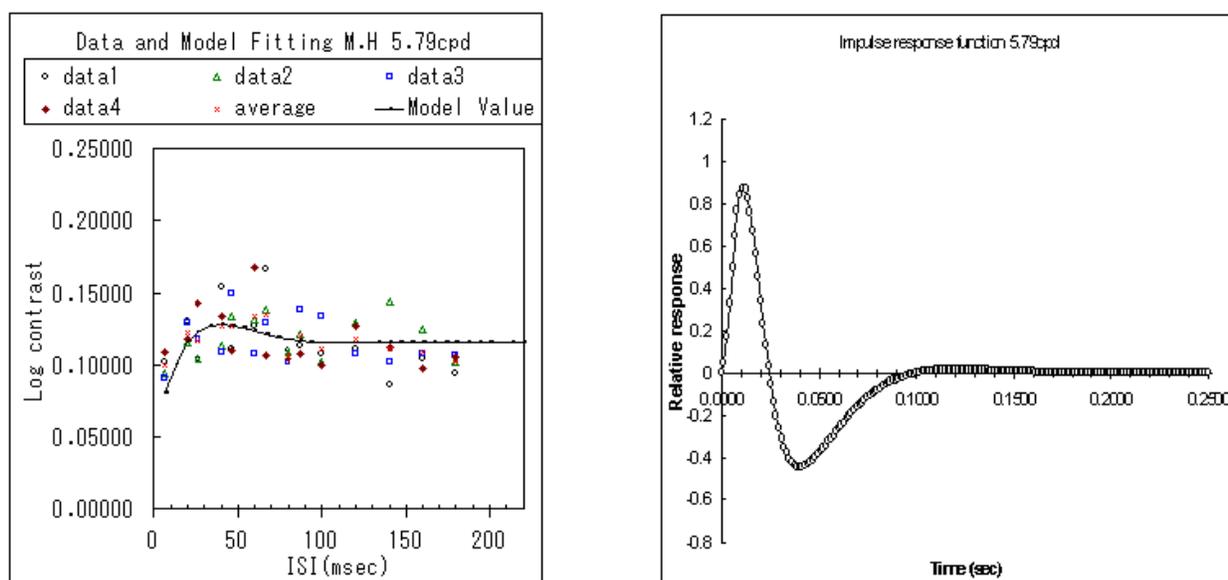


図 3.8 M.H 5.79cpd の実験結果と解析

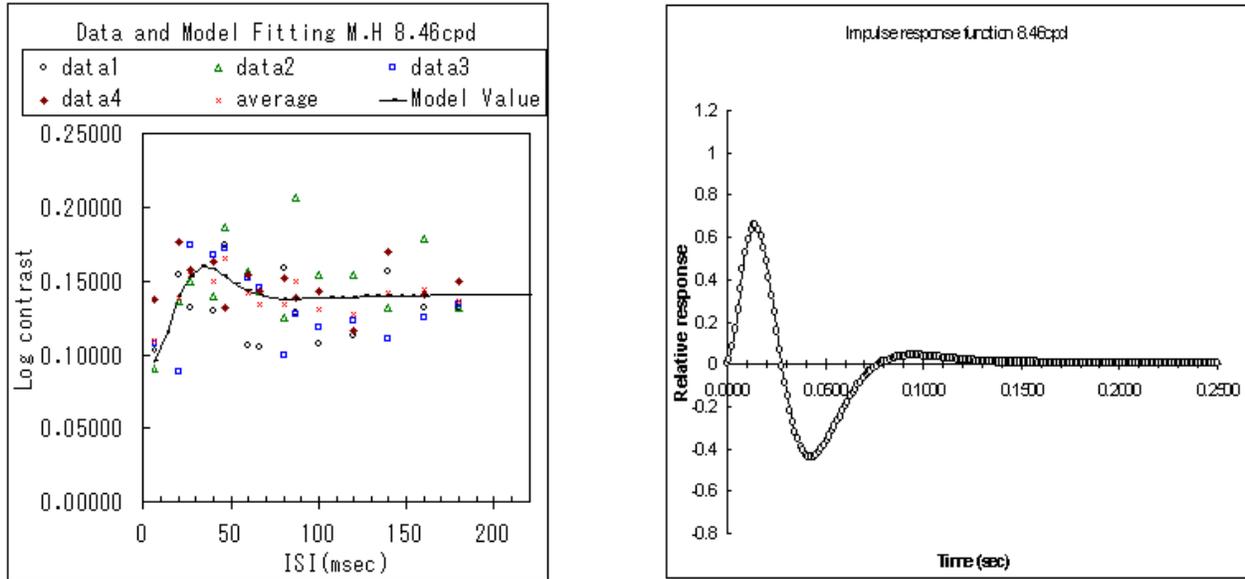


図 3.9 M.H 8.46cpd の実験結果と解析

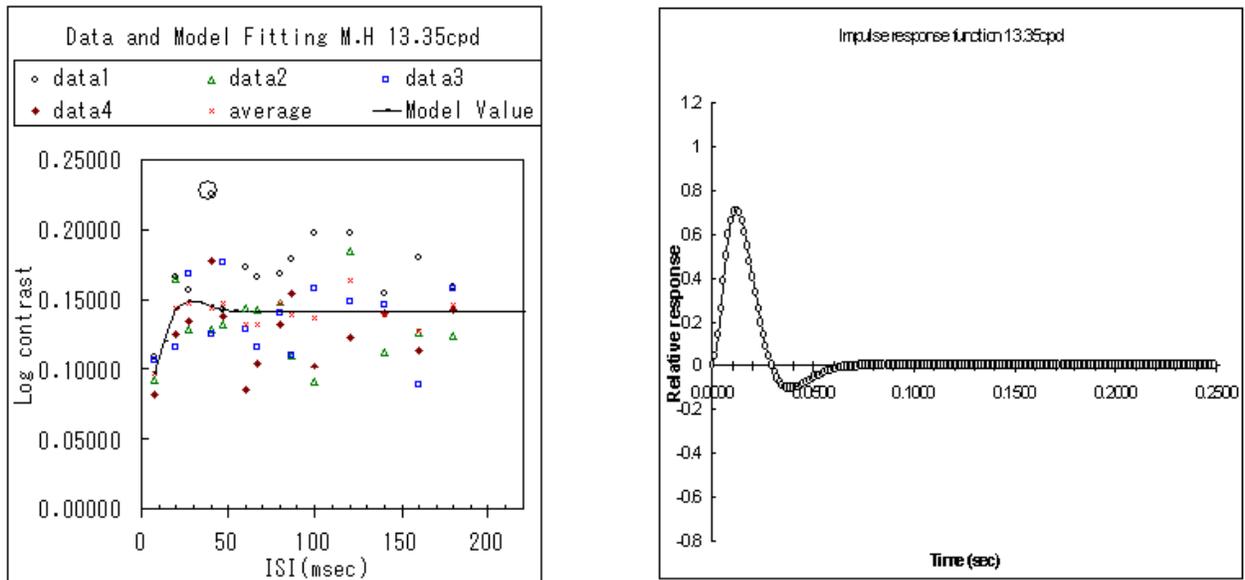


図 3.10 M.H 13.35cpd の実験結果と解析：図中○で囲まれた部分はエラーと見なし平均に加えていない。

3.2 被験者 T.S のデータ解析

M.H の場合と同様に、被験者 T.S についても実験結果と解析によって仮定されたインパルス応答関数を示す。

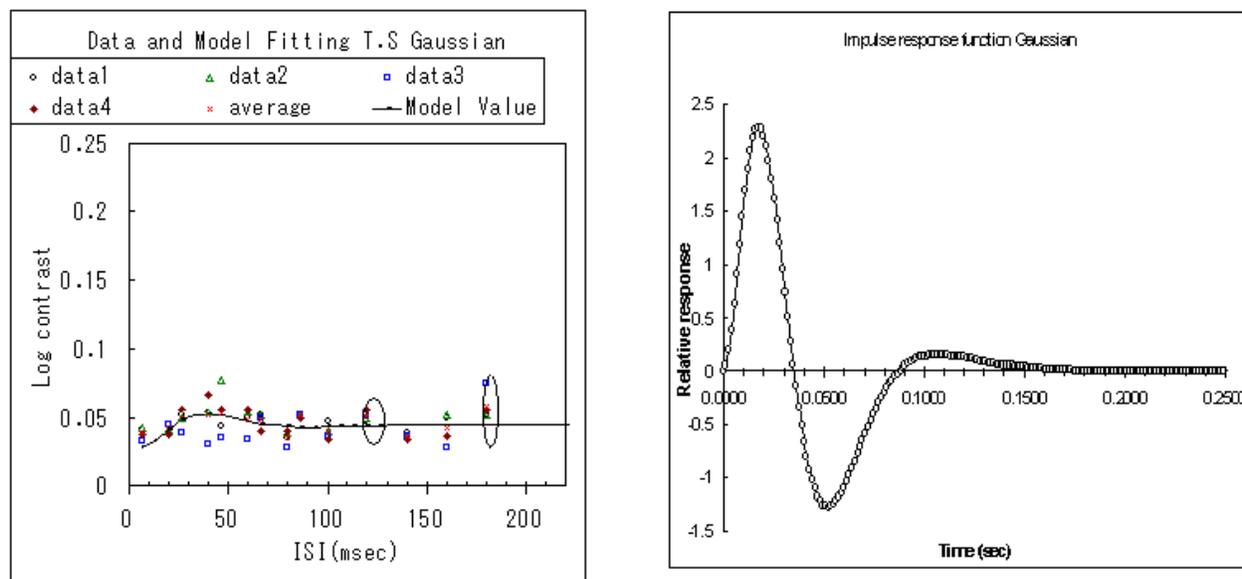


図 3.11 T.S Gaussian の実験結果と解析：左図中の○で囲まれた部分はエラーとは見なし難いが、モデルの fitting がうまくいかなかったため、これら○で囲まれた部分は無視している。

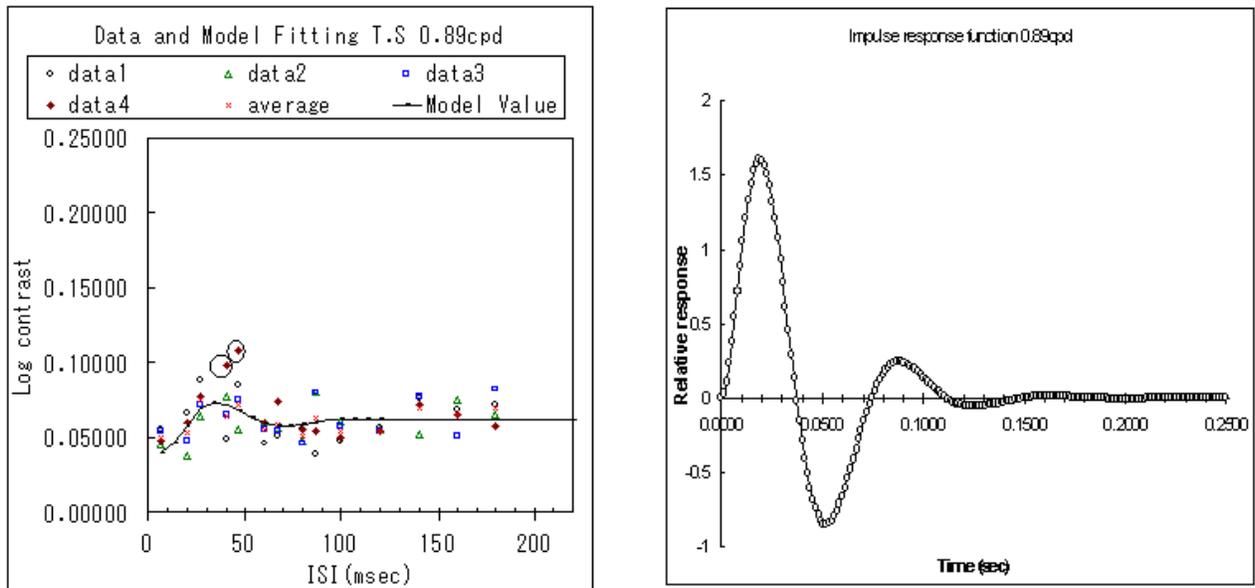


図 3.12 T.S 0.89cpd の実験結果と解析:4 セッション目の ISI = 40.03ms と 46.70(左
 図中の○で囲まれた部分) はエラーとみなし, 平均には加えていない。

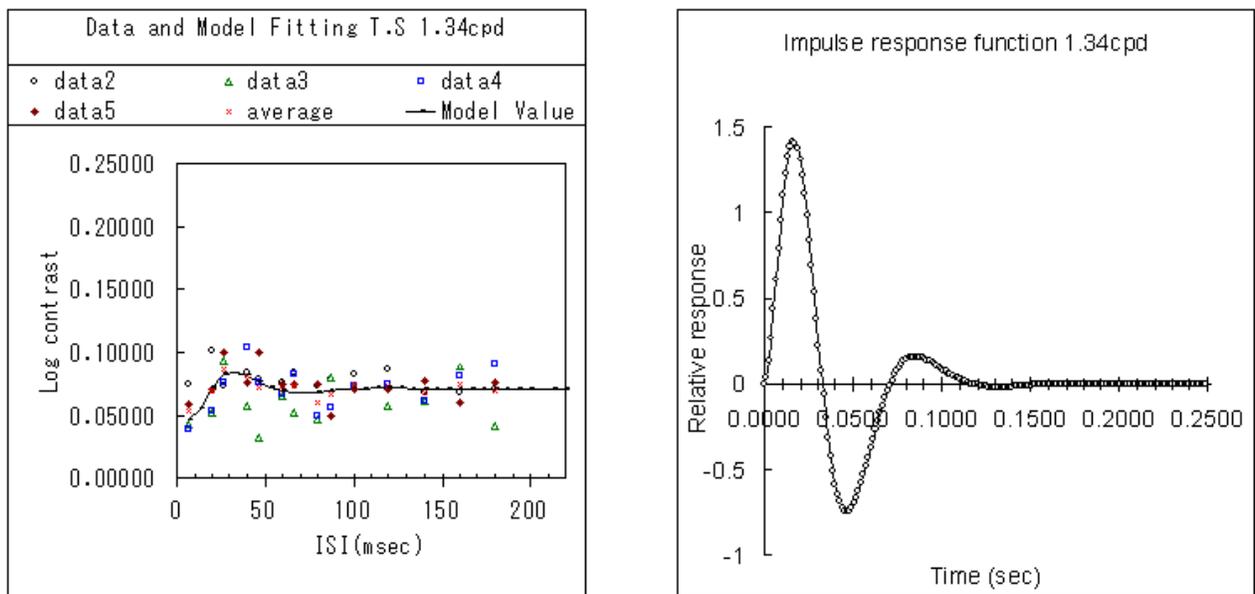


図 3.13 T.S 1.34cpd の実験結果と解析:1 セッション目のデータはエラーと見なし,
 平均には加えていない。このデータは 2 セッション以降の 3 回のデータの平均である。

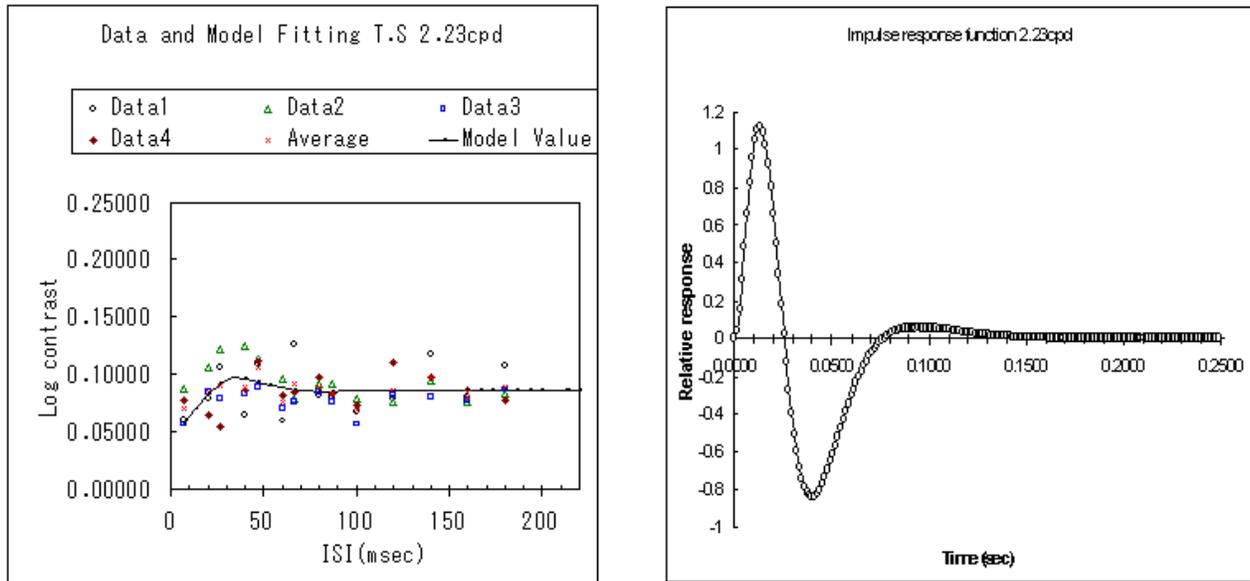


図 3.14 T.S 2.23cpd の実験結果と解析

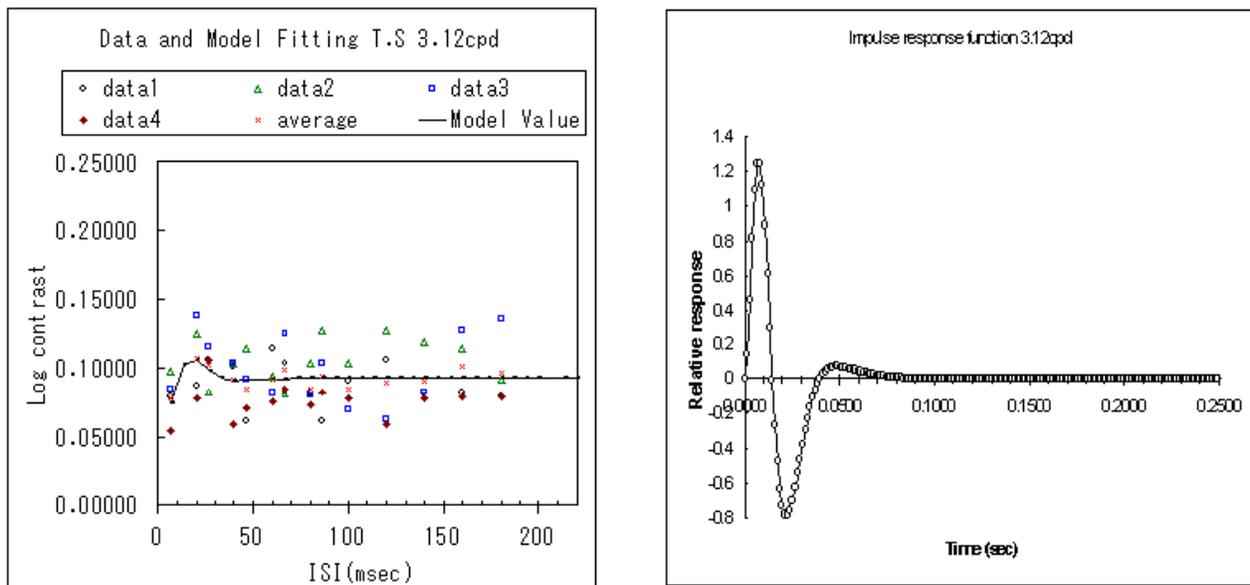


図 3.15 T.S 3.12cpd の実験結果と解析

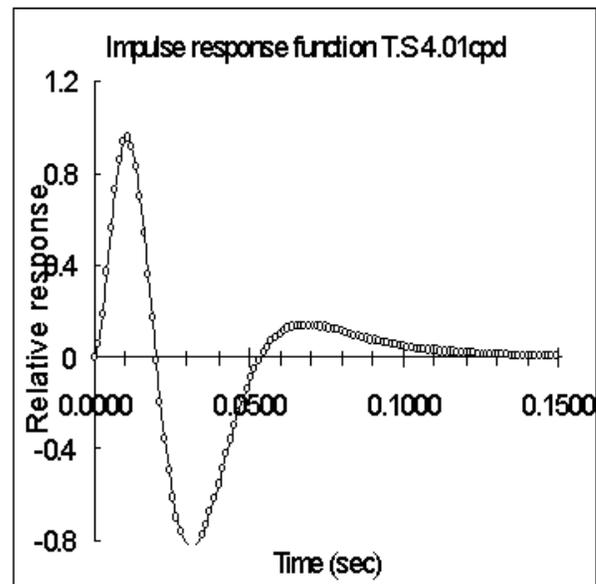
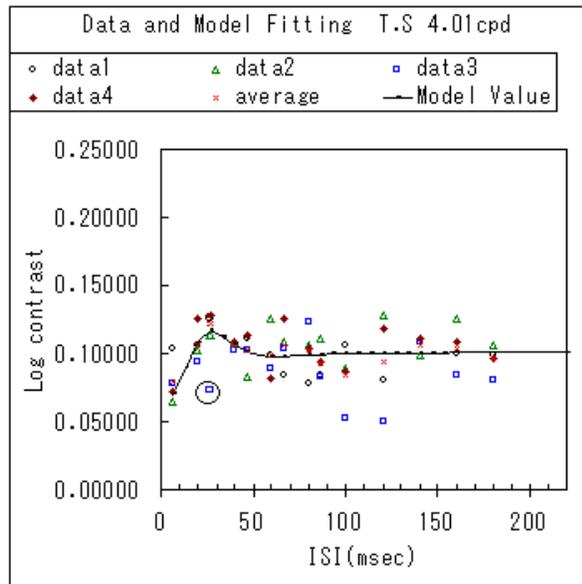


図 3.16 T.S 4.01cpd の実験結果と解析：図中の○で囲まれている部分はエラーと見なし、平均には加えていない。

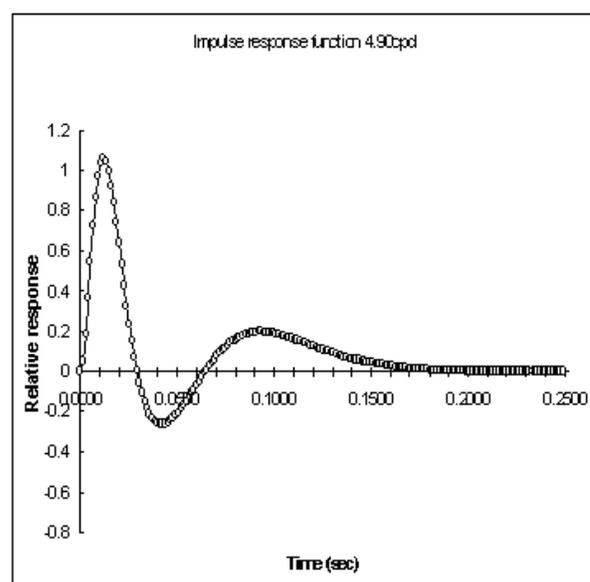
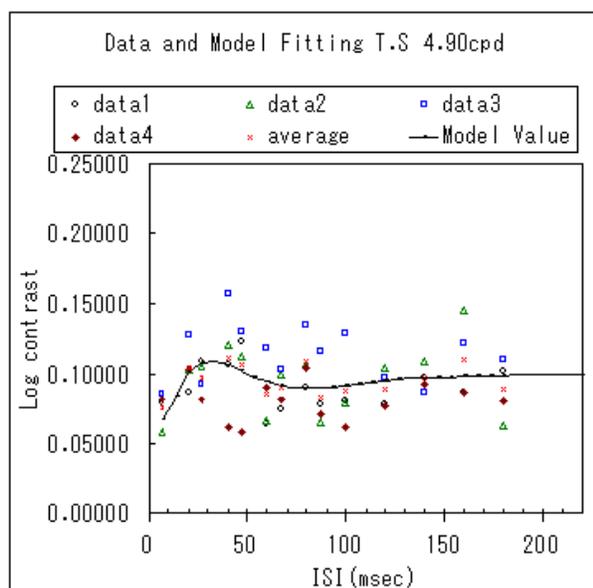


図 3.17 T.S 4.90cpd の実験結果と解析

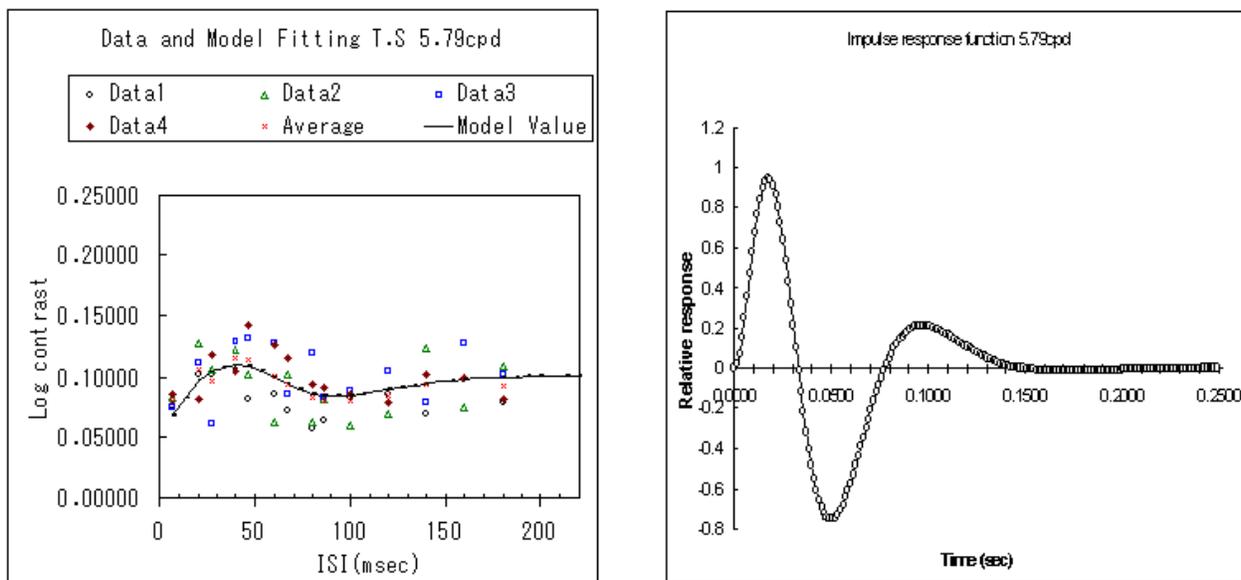


図 3.18 T.S 5.79cpd の実験結果と解析

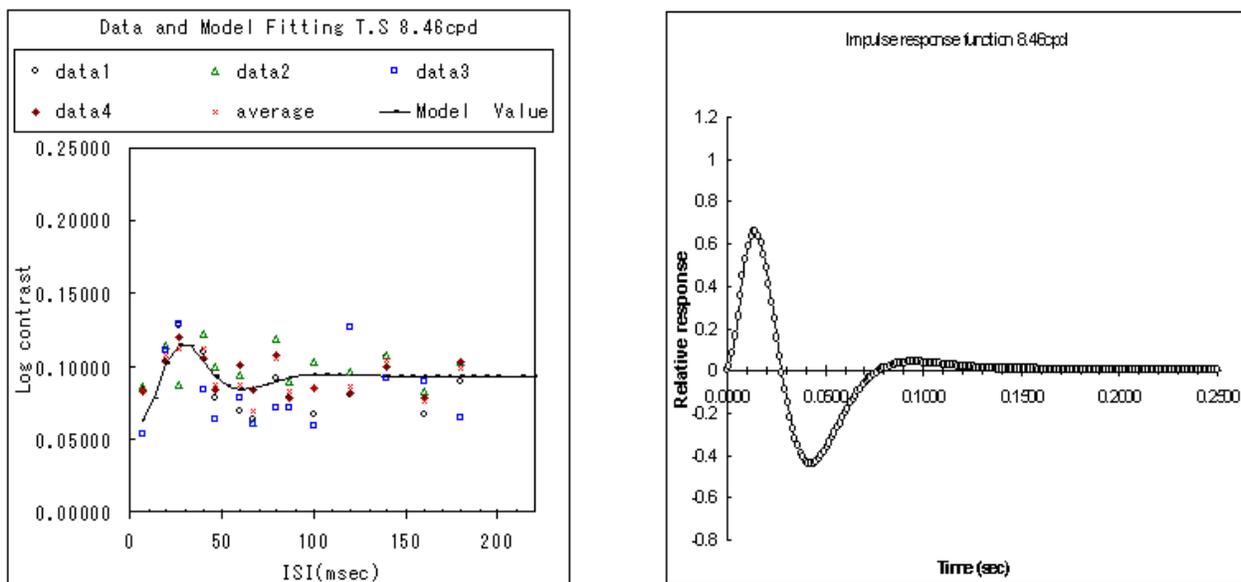


図 3.19 T.S 8.46cpd の実験結果と解析：この実験に関しては 3 セッション目のデータ (図中口のシンボル) はばらつきが大きく、全体としてランダムに上下しているのでエラーとみなしている。よって、平均値 (図中 ×) は 1,2,4 セッションの平均値を示している。

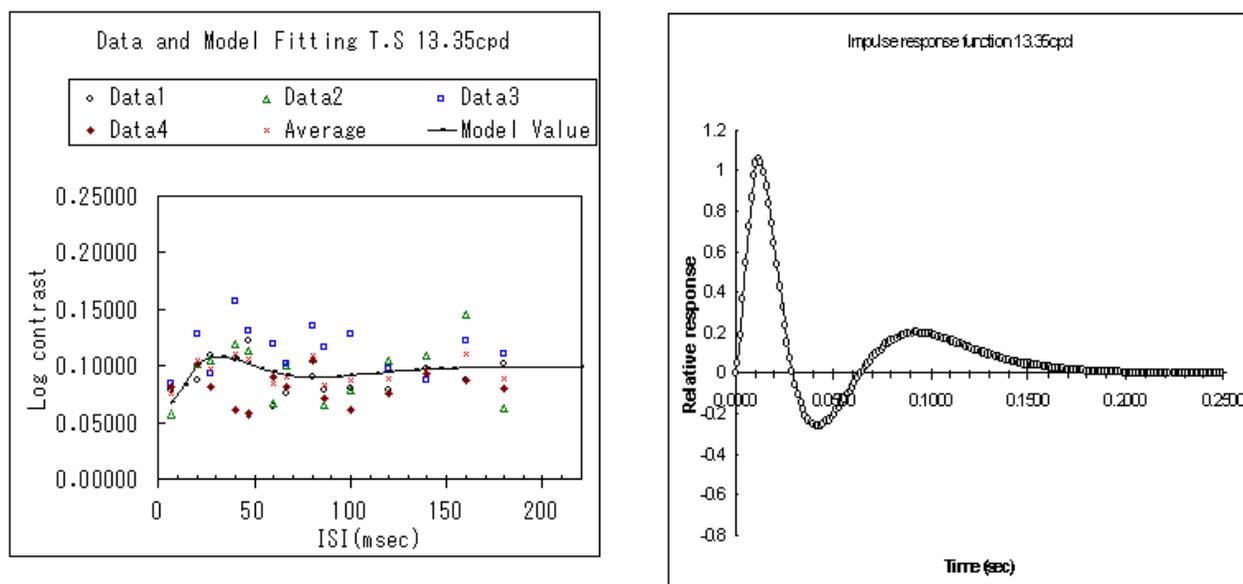


図 3.20 T.S 13.35cpd の実験結果と解析

3.3 求められたパラメータ

本研究では、インパルス応答関数を予測するために *Burr and Morrone* のモデル式 (2.1) を採用している。ここでは、実験によって予測されたインパルス応答関数のフリーパラメータ a_0, a_1, a_2, a_3 を表 3.1(被験者 M.H) と表 3.2(被験者 T.S) に示す。また、同時に示される *Error* の導出手順を以下に示す。

1. 4セッションの実験によって、ある ISI についてのコントラスト閾値の平均値が求められる。
2. モデルによって推測されたコントラスト閾値との差を取り、それを 2 乗したものをエラーとし、設定された ISI の数だけ求めることができる。
3. 各 ISI 毎に求められたエラー平均をすべて足し合わせる。これが *Sum of Error* である。

これを最小とするような a_0, a_1, a_2, a_3 をニュートン法により求め、モデル式 (2.1) に代入し、それをある空間周波数におけるインパルス応答関数と仮定した。

刺激の 空間周波数 (cpd)	M.H				<i>Error</i> *
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Gaussian(0.43)	196.5454	14.6258	2.0712	49.0249	0.3001
0.89	212.7243	12.9004	0.0001	66.1367	0.3002
1.34	65.5061	17.5767	6.1834	30.0088	0.7380
2.23	219.7774	16.4015	6.0233	95.2062	0.4675
3.12	291.0050	558.1271	39.6666	95.6615	0.9576
4.01	434.9985	34.4217	22.5735	171.0841	1.0246
4.90	127.7026	14.5034	1.2038	56.0699	1.4240
5.79	148.0618	32.9364	19.7932	52.8441	1.1923
8.49	97.7666	21.7789	7.0262	51.2656	0.9064
13.35	211.0726	19.8379	5.3177	104.8650	0.9539

表 3.1 被験者 M.H のインパルス応答関数を決定する 4 つのパラメータとエラー値

* はエラーの和 (Sum of Error) である

刺激の 空間周波数 (cpd)	T.S				<i>Error</i> *
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Gaussian(0.43)	297.0538	16.6379	4.4856	46.5370	0.3401
0.89	211.1243	13.4411	0.0107	48.2329	0.5844
1.34	208.9534	16.4504	2.2672	53.6738	0.2462
2.23	170.6609	24.1981	8.3793	50.8834	0.9904
3.12	367.4837	40.9161	12.4718	102.0247	0.3200
4.01	174.1965	30.1954	9.2926	59.2383	0.6326
4.90	153.1818	33.4791	23.3933	41.2943	1.0578
5.79	128.4112	33.4715	22.6422	31.5585	0.4770
8.49	142.8263	20.0785	3.1315	40.0506	1.8323
13.35	153.1818	33.4791	23.3933	41.2943	1.0578

表 3.2 被験者 T.S のインパルス応答関数を決定する 4 つのパラメータとエラー値

* はエラーの和 (Sum of Error) である.

第 4 章

考察

実験によって求められたデータを解析することによって、インパルス応答関数が予測された。予測されたインパルス応答関数は、空間周波数によって変化していることが明らかである。ここで、我々はインパルス応答の変化と空間周波数の関係を詳しく調べるため、インパルス応答関数の時間特性に注目する。なにが影響してインパルス応答関数を変化させたのかを、時間特性を比較することによって考察する。

4.1 インパルス応答関数の時間特性

実験により想定されたインパルス応答関数の時間特性について調べる。

異なる空間周波数におけるインパルス応答関数の時間特性を、次に挙げる 3 点について比較した。図 4.1 にその具体的な場所を示す。

- 興奮相がピークに達するまでの時間
- インパルス応答関数が x 軸と交わる ($y = 0$) 時間
- 抑制相がピークに達するまでの時間

図 4.2 に被験者 M.H の時間特性を、図 4.3 に被験者 T.S の時間特性を示す。グラフは縦軸に時間 (msec)、横軸に空間周波数 (cpd) をとっている。●シンボルが興奮相がピークに達する時間を示し、■のシンボルはインパルス応答関数が x 軸と交わる時間を示す。▲のシンボルは抑制相がピークに達するまでの時間を示している。

また、Gaussian(0.43cpd)~1.34cpd までの区間と、4.90cpd~13.35cpd までの区間には

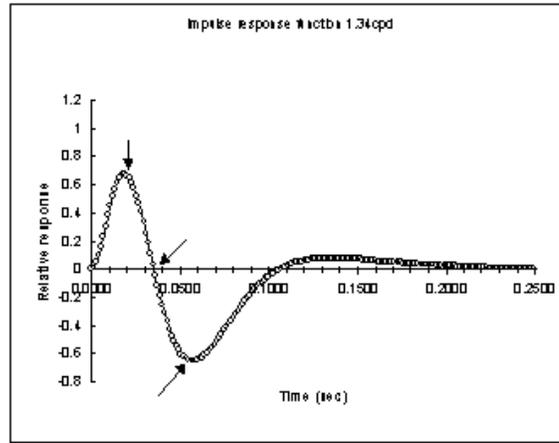


図 4.1 矢印で示された部分の時間について比較する

それぞれの区間に対する平均値 (msec) を計算し、シンボルの無い直線で図中に付け加えた。

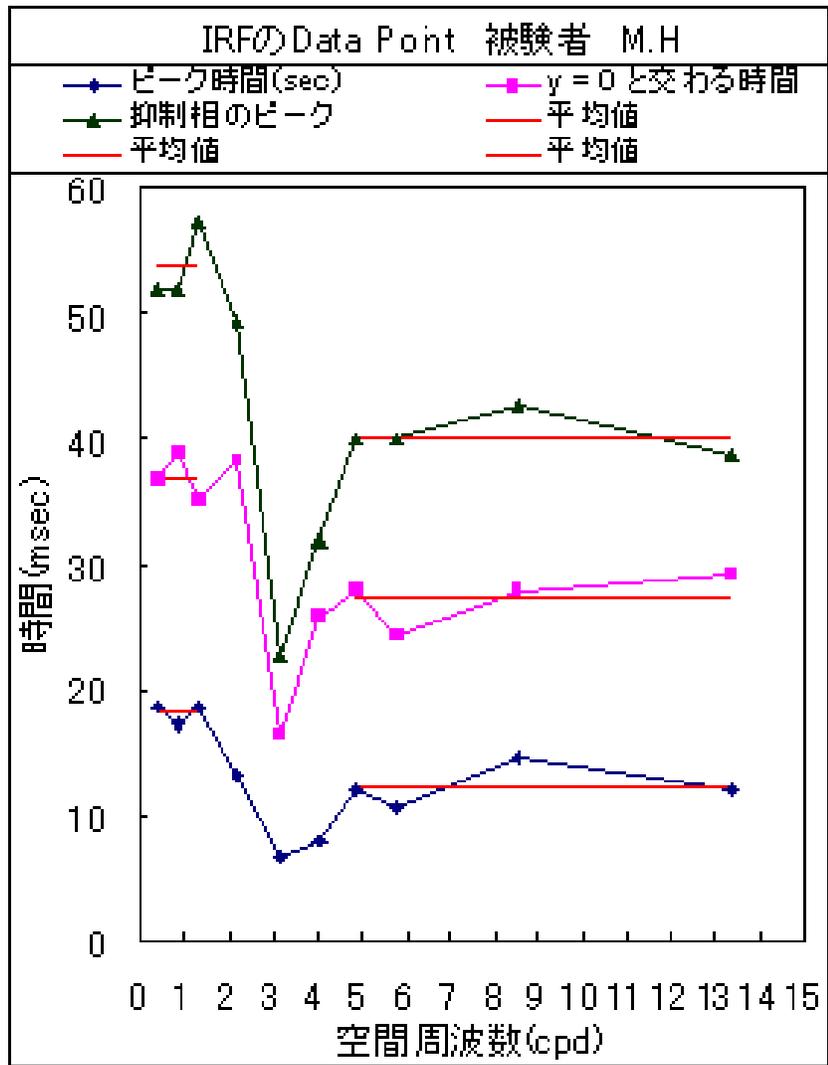


図 4.2 インパルス応答関数の時間特性 被験者 M.H

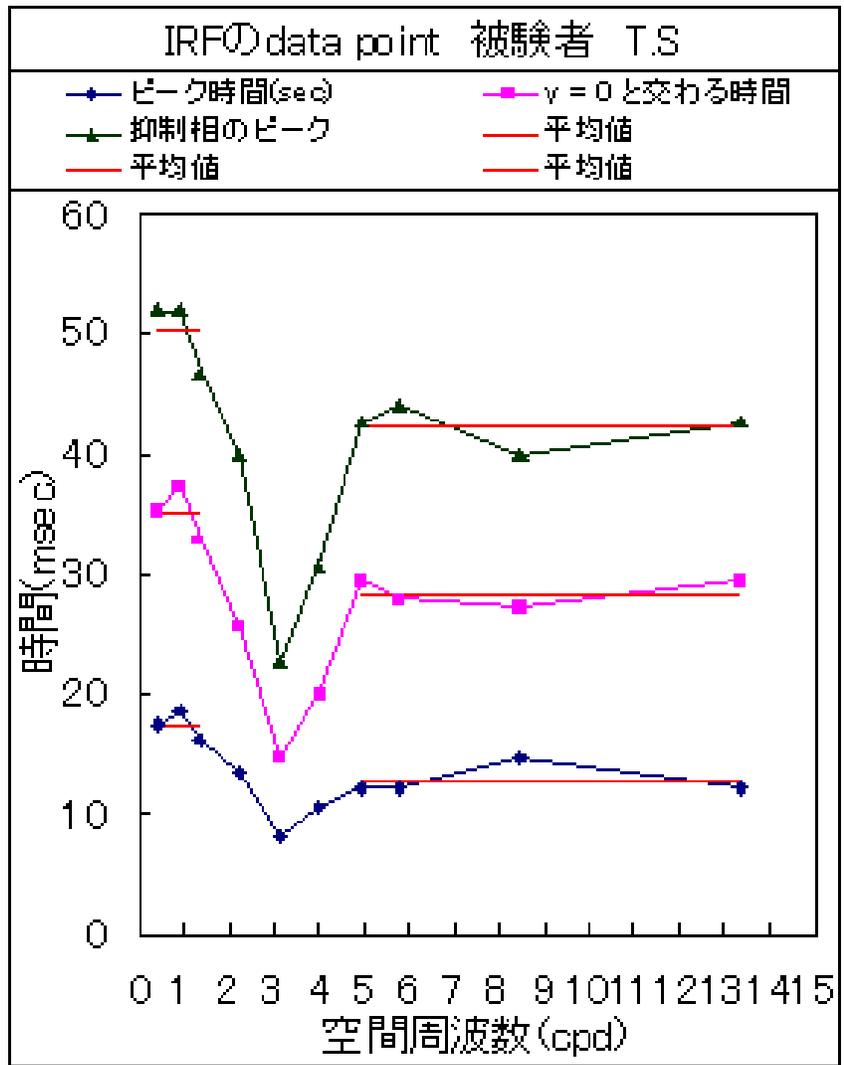


図 4.3 インパルス応答関数の時間特性 被験者 T.S

図 4.2 や図 4.3 より、インパルス応答の時間特性には次に述べるような特徴が挙げられる。

4.1.1 被験者の差

今回の被験者は 2 人であるが、その 2 人のインパルス応答の時間特性を比較すると、2 人ともほぼ同じ時間特性のデータが得られた。また、実験データを比較してもデータのばらつき具合に当然個人差が考えられるが、ほぼ等しいものと見ることができる。データ解析時にデータ点を無視した部分がいくつかあるが、これは被験者の体調などによるものであると考えられる。

また、実験は 1 セッション終わる毎に約 10 分間程の休憩をとったが、閾値測定は被験者にとって負荷が大きく、1 日のうちの終盤の実験では疲労が蓄積したとも考えられる。眼球疲労の影響でデータのばらつきが大きくなった可能性が大きい。

4.1.2 最速となる空間周波数

被験者 2 人に共通して見られる特徴であり、我々の行なった実験条件では 3.12cpd の空間周波数刺激に対するインパルス応答が、時間的に最も早いということが示されている。これはつまり、視覚系に 3cpd 付近に感度のピークをもつ空間周波数チャンネルがあるかもしれないということを示唆している。

3.12cpd の空間周波数刺激に対するインパルス応答の速度は、被験者 2 人ともに興奮相がピークに達する時間で約 8ms となっており、非常に早いことが明らかである。また、3.12cpd から離れるにつれ、インパルス応答の時間特性は遅くなっている。

4.1.3 低空間周波数側のインパルス応答関数の時間特性

Gaussian(0.43cpd) から 1.34cpd までの範囲のインパルス応答の時間特性はほぼ等しい。これも被験者 2 人ともに言える結果である。

被験者 M.H について、図 4.2 に示されるように、低周波数側の範囲における平均値を図

中に実線で示している。興奮相がピークに達するまでの平均は約 18.2ms、0 交差の平均は約 37ms、抑制相のピークまでの平均は約 54ms となる。

被験者 T.S についても同様に図 4.3 に示されるように、低周波数側では興奮相がピークに達するまでの時間が約 17ms、0 交差までの時間が約 35ms、抑制相のピークまでの時間が約 50ms である。低空間周波数側でのインパルス応答の時間特性は 2 人ともほぼ一致していると言える。

4.1.4 高空間周波数側のインパルス応答関数の時間特性

4.90cpd から 13.35cpd までの高空間周波数刺激に対するインパルス応答の時間特性も同様にほぼ等しい値となっている。図 4.2、図 4.3 に実線で示している平均値を比較すると、被験者 M.H の興奮相がピークに達するまでの時間は約 12ms、0 交差までの時間は約 27ms、抑制相がピークに達するまでの時間は約 40ms である。

被験者 T.S については、興奮相がピークに達するまでの時間は約 13ms、0 交差までの時間は約 28ms、抑制相がピークに達するまでの時間は約 42ms となり、被験者 2 人のデータはほぼ一致している。

4.1.5 空間周波数チャンネルについて

我々の予想では、低空間周波数刺激では比較的大きな受容野を持つ Magnocellular 経路の特徴が強調され、時間特性も早いものになるだろうと予測していた。逆に、高空間周波数刺激では比較的小さな受容野を持つ Parvocellular 経路の特徴が強調され、時間特性もゆっくりとしたものになるだろうと予測していた。しかし、実験データ解析の結果、Magnocellular 経路と Parvocellular 経路の特性を単純に当てはめることができないということを示している。よって、時間周波数チャンネルのモデルに基づいて今回の結果を分析してみると、モデルの考え方に示されている高時間周波数領域での 3 つの空間周波数チャンネルに対応するような 3 つの異なる時間特性がインパルス応答関数に現れている。

図 4.2 と図 4.3 に示されるように、ガウス関数 (0.48cpd)~1.34cpd の低空間周波数領域、2.23cpd から 4.01cpd の領域、4.90cpd から 13.35cpd の高空間周波数領域の 3 つの領域が見られる。しかし、ガウス関数 (0.48cpd)~1.34cpd の低空間周波数領域と 4.90cpd から 13.35cpd の高空間周波数領域については 1 つのチャンネルのなだらかな特性変化である可能性も否定できない。したがって少なくとも 2 つの空間周波数チャンネルの存在を示唆するデータ解析の結果が得られたということになる。

4.2 インパルス応答関数の強度について

刺激の空間周波数とインパルス応答の強度の関係について調べる。縦軸にインパルス応答の強度、横軸に刺激の空間周波数をとったものを図 4.2 に示す。図 4.2 より、低空間周波数

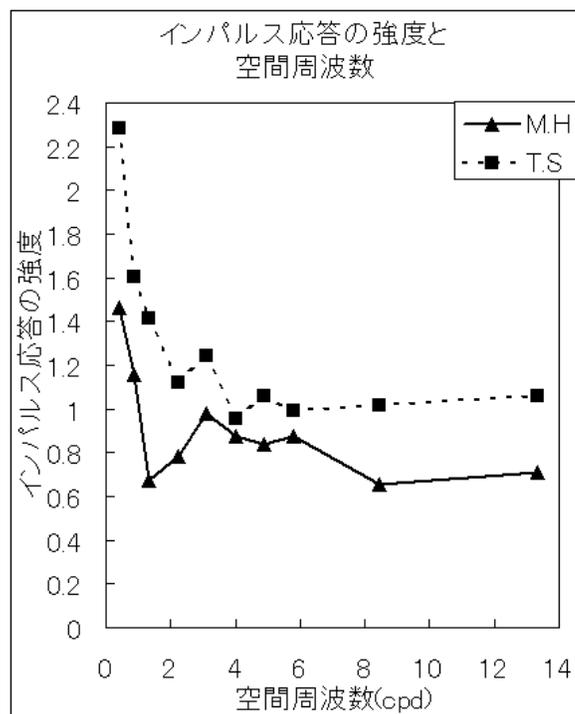


図 4.4 刺激の空間周波数とインパルス応答の強度を被験者 M.H(▲のシンボル) と被験者 T.S(■のシンボル) で示す。

側では強度が高く、高空間周波数側では強度は低いことがわかる。また、3cpd 付近では上

に凸の曲線になっている。図 4.2, 図 4.3, 図 4.2 を総合して考えると, 低空間周波数においては足し合わせに時間がかかるため, 時間特性は遅い。しかし, 足し合わされた分だけインパルス応答の強度は大きくなると考えられる。逆に, 高空間周波数においては足し合わせには時間がかかっておらず, その結果として強度が小さいと考えることができる。また, 時間特性が最も早い 3cpd 付近は, 別の空間周波数チャンネルが存在している可能性を示唆している。

4.3 位相情報の損失について

インパルス応答を考える時に, 考えなくてはならないものに位相の情報がある。時間特性を比較する上で無視することはできないが, 刺激に 2 刺激光やフリッカーを採用している限り位相の情報は損失する。ここでは, 位相情報が無くても時間特性を比較することが可能かどうかについて述べる。

4.3.1 最小位相の想定

これまでのインパルス応答の研究では, 位相情報が消失してしまうので最小位相を想定しインパルス応答を予測している。実際, 色度刺激に対するインパルス応答は最小位相の想定で正確に fit している。しかし, 輝度刺激に対するインパルス応答は, 最小位相の想定だと極端に外れることはないが, インパルス応答をフーリエ逆変換したものとは異っており, 最小位相の仮定をしてはいけないと結論づけられている [1]。

今回, 我々が採用した *Burr and Morrone* のモデル式 (2.1) は最小位相の想定をしておらず, そしてその結果が正しいことは足し合わせのデータを調査することで明らかにされている。

4.3.2 受容野の時空間特性

時間的な興奮や抑制，バンドパス特性をもたらす神経系のメカニズムは，中心 ON/周辺 OFF 型の受容野を形成する周辺の抑制信号の時間遅れで説明される．図 4.5 に示すように，受容野中心からの興奮信号に，周辺からの抑制信号が時間的に遅れて足し合わされることで，時間的な抑制効果とバンドパス型特性がもたらされる．

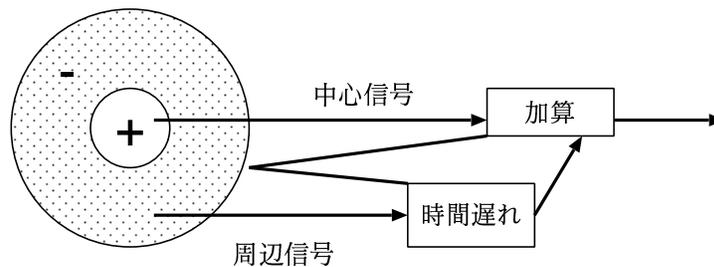


図 4.5 受容野の時空間特性モデル：中心部と周辺部の信号は線形に加算される．しかし，周辺部に対しては時間遅れを仮定する．

このモデルでは，抑制効果は周辺部分だけでなく中心部にもはたらくため，中心部への刺激に対する時間的な抑制効果も説明できる．

これら，生理学的な見解から，入力された刺激に対して，まず初めに興奮が起こり，時間的な遅れを伴って抑制信号が足し合わされるという結論が導かれる．

今回我々が想定したインパルス応答も同様の形をしており，そのタイムスケールが極端に変化することはないものとしている．

4.3.3 コントラスト閾値のピーク

インパルス応答の興奮相のピークや抑制相のピークは，実験によって求められたコントラスト閾値から求められた Model Value のフィッティングカーブとほぼ一致している．また，インパルス応答関数における抑制部分は，コントラスト閾値のデータ部分では閾値の上昇が見られる．つまり，時間軸はほぼ一致しており，問題はないと考えられるレベルと言える．

4.3.4 時間特性の比較は可能

これまで述べてきたような理由から，本論文でインパルス応答の時間特性を比較することはリーズナブルだといえる．

被験者 2 人について，ほぼ同じ結果を示したということは，今回行なった実験装置や手順，データ解析手法などに問題が無く，ほぼ同じ条件で実験できたということがいえる．

特にナイーブな被験者 T.S に関しては，この実験に関する予備知識が無いにも関わらず被験者 M.H とほぼ同じ結果を示している．

第 5 章

結論

今回我々が行なった実験条件から求められた結果をまとめると次のようになる。

1. 被験者 2 人の結果について、インパルス応答関数の時間特性はほぼ一致している。
2. 刺激のもつ空間周波数によって、視覚系のインパルス応答の時間特性は変化する。
3. 時間特性の変化は 3.12cpd がもっとも早い。
4. 4.90cpd~13.35cpd の範囲のインパルス応答の速度はほぼ同じである。
5. ガウス関数 (0.43cpd)~1.34cpd の範囲でのインパルス応答の速度もほぼ同じである。

ただし、上記の 4 と 5 に関しては、直感に反して 4.90cpd~13.35cpd の範囲のインパルス応答の方がガウス関数 (0.43cpd)~1.34cpd の範囲のインパルス応答よりも早いという結果であった。

しかし予想に反して、実験データ解析の結果、Magnocellular 経路と Parvocellular 経路の特性を単純に当てはめることができないということを示した。

図 4.2 と図 4.3 に示されるように、ガウス関数 (0.48cpd)~1.34cpd の低空間周波数領域、2.23cpd から 4.01cpd の領域、4.90cpd から 13.35cpd の高空間周波数領域の少なくとも 2 つの空間周波数チャンネルの存在を示唆するデータ解析の結果が得られた。

また、図 4.2 より、低空間周波数領域は強度が大きく、時間特性は遅い。高空間周波数領域は強度が小さく時間特性は早いという結果が得られた。空間周波数チャンネルの感度とインパルス応答の速度には、トレードオフのようなメカニズムが存在する可能性があるということが考えられる。

謝辞

高知工科大学情報システム工学科の教員の皆さんには大変お世話になりました。特に、指導教官である篠森敬三助教授には多くの叱咤激励をしていただいたこと、深謝いたします。

また、篠森研究室の一期生メンバーには研究室発足当時からお世話になった。そして研究室の後輩で被験者として協力してくれた T.S 君にも感謝しています。

最後に、本研究は日本学術振興会科学研究費奨励研究 (A)(12750391) の研究費援助を受けました。

参考文献

- [1] David C. Burr and M. Concetta Morrone
“Impulse-response functions for chromatic and achromatic stimuli”
J. Opt. Soc. Am. A / Vol.10, No.8 pp.1706 - pp.1713 / 1993
- [2] 池田光男 『視覚の心理物理学』 森北出版, 1975
- [3] Keiji Uchikawa and Tatsuya Yoshizawa
“Temporal responses to chromatic and achromatic change inferred from temporal double-pulse integration”
J. Opt. Soc. Am. A / Vol.10, No.8 pp.1697 - pp.1696
- [4] 塩入 諭 “視覚の時空間特性”
『視覚情報処理ハンドブック』 日本視覚学会編 第5章2節 pp.224 朝倉書店, 2000
- [5] 内川恵二 『色覚のメカニズム』 朝倉書店, 1998

付録 A

色覚検査について

A.1 色覚検査表

色覚検査表は、色覚異常者にとって混同されやすい色が使用されている。検査表の目的は、正常と異常をふるい分けることであるため、検査表による程度判定は参考程度に捉えなければならない。本稿では色覚検査表に石原式 Plate を用いたが、国内で用いられる色覚検査表は他にも大熊表や標準色覚検査表がある。いずれの検査表も 100% の検出は不可能である。また、色弱、色盲、全盲の診断は検査表では不可能である。

A.2 パネル D-15 テスト

先天色覚異常の程度を軽度と強度の 2 群に区分することを目的とした検査器である。1 個の基準色相 (reference cap) と、全色相から抽出された 15 個の検査色から構成されている。検査色の裏側には色相純に 1 から 15 までの番号が記されている。

検査は、全検査色を順不同に呈示し、基準の色相に類似の色から色相順に並べさせる。検査の結果は、検査用色相の裏側に示された番号を記録用紙に記載し、円形の色相環として示された色相番号を示す点を配列番号順に結ぶ。得られたパターンにより、色覚異常のタイプが判定される。

色覚検査表およびパネル D-15 テストともに、色表を用いたテストのため、使用する際には十分に気を配る必要がある。テストの際、色表部分に直接手を触れないように気をつけ、使用後は速やかに暗所で保管しなければならない。これは皮脂や紫外線による色表の変色を

避けるためである。また、プライバシー保護の観点から、検査は実験者と被験者のみで行なわれるべきである。