

2001 年度

学士學位論文

異なる空間周波数を持つ
色刺激に対する
インパルス応答関数

Chromatic Impulse Response Functions of Stimuli
in different spatial frequencies.

1020295 下山孝士

指導教員 篠森敬三

2002 年 2 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

異なる空間周波数を持つ 色刺激に対する インパルス応答関数

下山孝士

2 刺激法を用い、色刺激におけるヒトの情報処理過程を明らかにする事を目的とし、RYGB の各 4 色刺激に対するインパルス応答を測定・解析した結果を報告する。

実験での空間周波数は単純な Gaussian(0.43cpd) から 4.90cpd の範囲の 6 点を用い、これを各 RYGB 色におけるパラメータとし、刺激を作成した。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。

我々は、2 人の被験者について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、各被験者のインパルス応答関数は、1 人が過去の研究でも求められている一般的な色インパルス応答の波形を示した。そして、残りの 1 人は一部の条件で 2 相性からなる波形を示した。この原因として、観察されたコントラスト感度関数は単一色チャンネルの特性を反映しているのではなく、複数の色チャンネルによる応答特性が現れているのではないのかと推定される。

一相性の結果より、色における刺激の影響について考えると、インパルス応答は 3cpd から 4cpd を境にして時間的に変化した。これは少なくとも色について 2 つの空間周波数チャンネルが存在する事を示している。

キーワード

インパルス応答、コントラスト感度関数、空間周波数チャンネル

Abstract

Chromatic Impulse Response Functions of Stimuli in different spatial frequencies.

Takashi SHIMOYAMA

We have reported that an result of analysis chromatic impulse response functions of stimuli in different spatioal frequencies to clear process of human infomation with temporal double-pulse integration.

We made stimuli in different spatioal frequencies simplu gaussian from 5.79cpd that was parameter of red,yellow,green and blue signal. The Burr and Marrone model which has unlimited of bottom phase was used in experiment.

We had compared the impulse response function of time characteristic with two experimeted man. As the result, one of impulse resonse functions was general wave. And the other is two phase wave with a part of condition. This was caused by the regflection to the contrast function was not single channel but complex channel.

The result of single phase of the impulse response function, thinking of effect the stimli in chromatic, the impulse response function was changing with a time between 3cpd and 4cpd. This is showed that the spatial frequency was not a little existing.

key words Paper style, pL^AT_EX2 ϵ , Class file

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	閾値決定のメカニズム	2
1.1.3	本研究のインパルス応答で用いた手法	3
1.1.4	2 刺激法	3
1.2	色覚の時空間周波数特性	4
1.2.1	コントラスト感度関数	4
1.2.2	時空間周波数チャンネル	4
1.3	実験の目的	5
第 2 章	実験手法	7
2.1	呈示刺激	7
2.2	装置	8
2.3	測光	9
2.4	実験手順	10
2.5	データ解析方法	12
2.5.1	<i>Burr and Marrone</i> のモデル式	12
2.5.2	閾決定メカニズム	12
2.5.3	確率的足し合わせを考慮した閾検出モデル	12
2.6	モデルとデータの fitting	13
第 3 章	実験データと解析結果	14
3.1	被験者 M.H について	14

目次

3.2	被験者 T.S について	14
3.3	青刺激に対して	15
3.3.1	空間周波数 0.43cpd	15
3.3.2	空間周波数 1.34cpd	16
3.3.3	空間周波数 2.23cpd	17
3.3.4	空間周波数 3.12cpd	18
3.3.5	空間周波数 4.01cpd	19
3.3.6	空間周波数 4.90cpd	20
3.3.7	空間周波数 5.79cpd	21
3.4	黄刺激に対して	22
3.4.1	空間周波数 0.43cpd	22
3.4.2	空間周波数 1.34cpd	23
3.4.3	空間周波数 2.23cpd	24
3.4.4	空間周波数 3.12cpd	25
3.4.5	空間周波数 4.01cpd	26
3.4.6	空間周波数 4.90cpd	27
3.4.7	空間周波数 5.79cpd	28
3.5	赤刺激に対して	29
3.5.1	空間周波数 0.43cpd	29
3.5.2	空間周波数 1.34cpd	30
3.5.3	空間周波数 2.23cpd	31
3.5.4	空間周波数 3.12cpd	32
3.5.5	空間周波数 4.01cpd	33
3.5.6	空間周波数 4.90cpd	34
3.5.7	空間周波数 5.79cpd	35
3.6	緑刺激に対して	36

目次

3.6.1	空間周波数 0.43cpd	36
3.6.2	空間周波数 1.34cpd	37
3.6.3	空間周波数 2.23cpd	38
3.6.4	空間周波数 3.12cpd	39
3.6.5	空間周波数 4.01cpd	40
3.6.6	空間周波数 4.90cpd	41
3.6.7	空間周波数 5.79cpd	42
3.7	仮定した a_0, a_1, a_2, a_3	43
3.7.1	被験者 M.H の a_0, a_1, a_2, a_3 値とエラー値	43
3.7.2	被験者 T.S の a_0, a_1, a_2, a_3 値とエラー値	44
第 4 章	考察	45
4.1	色刺激に対する時間特性	45
4.2	被験者 T.S のインパルス応答関数が一相性でなかった理由	46
4.2.1	被験者の時間特性	46
4.2.2	空間周波数による時間特性の変化	46
4.2.3	色刺激による時間特性の変化	47
4.2.4	空間周波数チャンネルについて	47
第 5 章	まとめ	48
参考文献		49

目次

1.1	視覚系の閾値検出モデル	2
1.2	2 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 の終わりから second flash の立ち上がりまでの時間間隔。	3
1.3	色度刺激に対する一相性インパルス応答。H1 相と H2 相が同極性で足し合わされる	4
1.4	時空間周波数領域でのチャンネルの概念図:楕円はあるチャンネルの感度を持つ領域を示す。チャンネルの数は、時間的に低周波で刺激では、空間周波数チャンネルが 6 程度、高周波では 3 程度、時間周波数方向にはチャンネルの数が 2 か 3 との知見に基づいている。	5
2.1	刺激呈示の例	8
2.2	暗室の概略図	9
2.3	ディスプレイ	10
2.4	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	10
2.5	ディスプレイに呈示される刺激の時間的变化：(呈示刺激 D の輝度) = (背景輝度 C)	11
3.1	M.H 実験結果 0.43cpd	15
3.2	M.H インパルス応答関数 0.43cpd	15
3.3	T.S 実験結果 0.43cpd	15
3.4	T.S インパルス応答関数 0.43cpd	15
3.5	M.H 実験結果 1.34cpd	16

目次

3.6	M.H インパルス応答関数 1.34cpd	16
3.7	T.S 実験結果 1.34cpd	16
3.8	T.S インパルス応答関数 1.34cpd	16
3.9	M.H 実験結果 2.23cpd	17
3.10	M.H インパルス応答関数 2.23cpd	17
3.11	T.S 実験結果 2.23cpd	17
3.12	T.S インパルス応答関数 2.23cpd	17
3.13	M.H 実験結果 3.12cpd	18
3.14	M.H インパルス応答関数 3.12cpd	18
3.15	M.H 実験結果 4.01cpd	19
3.16	M.H インパルス応答関数 4.01cpd	19
3.17	T.S 実験結果 4.01cpd	19
3.18	T.S インパルス応答関数 4.01cpd	19
3.19	M.H 実験結果 4.90cpd	20
3.20	M.H インパルス応答関数 4.90cpd	20
3.21	T.S 実験結果 4.90cpd	20
3.22	T.S インパルス応答関数 4.90cpd	20
3.23	M.H 実験結果 5.79cpd	21
3.24	M.H インパルス応答関数 5.79cpd	21
3.25	M.H 実験結果 0.43cpd	22
3.26	M.H インパルス応答関数 0.43cpd	22
3.27	T.S 実験結果 0.43cpd	22
3.28	T.S インパルス応答関数 0.43cpd	22
3.29	M.H 実験結果 1.34cpd	23
3.30	M.H インパルス応答関数 1.34cpd	23
3.31	T.S 実験結果 1.34cpd	23

目次

3.32 T.S インパルス応答関数 1.34cpd	23
3.33 M.H 実験結果 2.23cpd	24
3.34 M.H インパルス応答関数 2.23cpd	24
3.35 T.S 実験結果 2.23cpd	24
3.36 T.S インパルス応答関数 2.23cpd	24
3.37 M.H 実験結果 3.12cpd	25
3.38 M.H インパルス応答関数 3.12cpd	25
3.39 M.H 実験結果 4.01cpd	26
3.40 M.H インパルス応答関数 4.01cpd	26
3.41 T.S 実験結果 4.01cpd	26
3.42 T.S インパルス応答関数 4.01cpd	26
3.43 M.H 実験結果 4.90cpd	27
3.44 M.H インパルス応答関数 4.90cpd	27
3.45 T.S 実験結果 4.90cpd	27
3.46 T.S インパルス応答関数 4.90cpd	27
3.47 T.S 実験結果 5.79cpd	28
3.48 T.S インパルス応答関数 5.79cpd	28
3.49 M.H 実験結果 0.43cpd	29
3.50 M.H インパルス応答関数 0.43cpd	29
3.51 T.S 実験結果 0.43cpd	29
3.52 T.S インパルス応答関数 0.43cpd	29
3.53 M.H 実験結果 1.34cpd	30
3.54 M.H インパルス応答関数 1.34cpd	30
3.55 T.S 実験結果 1.34cpd	30
3.56 T.S インパルス応答関数 1.34cpd	30
3.57 M.H 実験結果 2.23cpd	31

目次

3.58 M.H インパルス応答関数 2.23cpd	31
3.59 T.S 実験結果 2.23cpd	31
3.60 T.S インパルス応答関数 2.23cpd	31
3.61 M.H 実験結果 3.12cpd	32
3.62 M.H インパルス応答関数 3.12cpd	32
3.63 T.S 実験結果 3.12cpd	32
3.64 T.S インパルス応答関数 3.12cpd	32
3.65 M.H 実験結果 4.01cpd	33
3.66 M.H インパルス応答関数 4.01cpd	33
3.67 T.S 実験結果 4.01cpd	33
3.68 T.S インパルス応答関数 4.01cpd	33
3.69 M.H 実験結果 4.90cpd	34
3.70 M.H インパルス応答関数 4.90cpd	34
3.71 T.S 実験結果 4.90cpd	34
3.72 T.S インパルス応答関数 4.90cpd	34
3.73 M.H 実験結果 5.79cpd	35
3.74 M.H インパルス応答関 5.79cpd	35
3.75 M.H 実験結果 0.43cpd	36
3.76 M.H インパルス応答関数 0.43cpd	36
3.77 T.S 実験結果 0.43cpd	36
3.78 T.S インパルス応答関数 0.43cpd	36
3.79 M.H 実験結果 1.34cpd	37
3.80 M.H インパルス応答関数 1.34cpd	37
3.81 T.S 実験結果 1.34cpd	37
3.82 T.S インパルス応答関数 1.34cpd	37
3.83 M.H 実験結果 2.23cpd	38

目次

3.84 M.H インパルス応答関数 2.23cpd	38
3.85 T.S 実験結果 2.23cpd	38
3.86 T.S インパルス応答関数 2.23cpd	38
3.87 M.H 実験結果 3.12cpd	39
3.88 M.H インパルス応答関数 3.12cpd	39
3.89 T.S 実験結果 3.12cpd	39
3.90 T.S インパルス応答関数 3.12cpd	39
3.91 M.H 実験結果 4.01cpd	40
3.92 M.H インパルス応答関数 4.01cpd	40
3.93 T.S 実験結果 4.01cpd	40
3.94 T.S インパルス応答関数 4.01cpd	40
3.95 M.H 実験結果 4.90cpd	41
3.96 M.H インパルス応答関数 4.90cpd	41
3.97 T.S 実験結果 4.90cpd	41
3.98 T.S インパルス応答関数 4.90cpd	41
3.99 M.H 実験結果 5.79cpd	42
3.100M.H インパルス応答関数 5.79cpd	42
3.101赤刺激の場合	43
3.102緑刺激の場合	43
3.103黄刺激の場合	44
3.104青刺激の場合	44
3.105赤刺激の場合	44
3.106緑刺激の場合	44
3.107黄刺激の場合	44
3.108青刺激の場合	44

目次

4.1	印のピーク点に注目し、この時の時間を縦軸に、またこの時の空間周波数を横軸にとる	45
4.2	インパルス応答関数から求めた時間特性、被験者 M.H	47
4.3	インパルス応答関数から求めた時間特性:被験者 T.S	47

表目次

第 1 章

はじめに

本研究では、2 刺激法を用い、さまざまな空間周波数をもった色刺激に対するインパルス応答を測定する。また、このインパルス応答から、その条件における色インパルス応答関数をもとめる。さらにインパルス応答関数の時間特性を求めることから、色に対する空間周波数の影響を明らかにできると考えられる。

まず、本章では、これらの過程で出てくる用語、手法、また被験者の閾値決定メカニズムなどの手法を説明する。その後実験目的を説明する。

1.1 インパルス応答

1.1.1 閾値検出モデル

視覚系の閾値検出の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 が加わった後に、閾値検出器 TD にいたる。図 1.1 に一般的な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、そのインパルス応答 $H(t)$ は次式 (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。

刺激光 $I(t)$ が視覚系に入力すると、視覚系の応答 $R(t)$ は、 $I(t)$ と $H(t)$ の畳み込み積分となり、式 (1.2) で与えられる。

1.1 インパルス応答

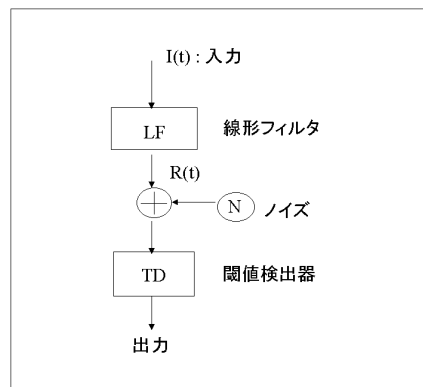


図 1.1 視覚系の閾値検出モデル

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

また、この閾値検出器 TD には、線形フィルタの信号に生体ノイズ N が加算される。N 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) である。

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

β はノイズ特性によって決定される定数で、知覚確率曲線の傾きである。

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

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

1.1.2 閾値決定のメカニズム

閾値決定のメカニズムとして Watson(1979) によって次のような時間的な確率的足し合わせによる閾値モデルが提案された。応答 $R(t)$ をある時刻 t_i に対する $R(t_i)$ の繋がりのみなし、 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。どの時刻でもその $R(t_i)$ が閾値を越えれば応答 $R(t)$ は検出されるとすると、 $R(t)$ の検出確率は P_i を用いて式 (1.5) で表される。

$$P = 1 - \Pi(1 - P_i) \quad (1.5)$$

確率 P_i は式 (1.6) の知覚確率曲線で表される。

1.1 インパルス応答

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

β は知覚確率曲線の傾きを表す。式 (1.4) を式 (1.3) に代入し、連続関数として表すと、検出確率は、

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

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

1.1.3 本研究のインパルス応答で用いた手法

インパルス応答で用いられる手法は、さまざまな方法があるが、今回実験で採用した 2 刺激光を使う手法を説明する。

1.1.4 2 刺激法

2 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 に示されるような形状を用いることが多い。また、色度刺激での 2 刺激光による足し合わせの概略図を図 1.3 に示す。2 刺激法では

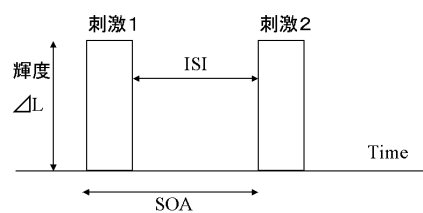


図 1.2 2 刺激法の刺激呈示例:SOA は first flash の立ち上がりから second flash の立ち上がりまでの時間間隔。ISI は first flash の終わりから second flash の立ち上がりまでの時間間隔。

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

1.2 色覚の時空間周波数特性

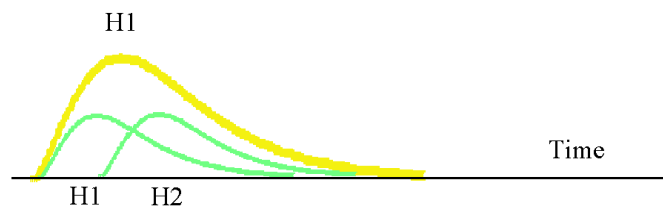


図 1.3 色度刺激に対する一相性インパルス応答。H1 相と H2 相が同極性で足し合わされる

定することができる。

Uchikawa and Yoshizawa[1] 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つことが分かっている。

1.2 色覚の時空間周波数特性

1.2.1 コントラスト感度関数

見る能力を評価するには、空間、時間周波数ごとのコントラスト感度 CSF (contrast sensitivity function) を測定するのが最も一般的である。

人間の視覚系には色彩情報を使って見る能力が備わっている。これを調べるには輝度変化を伴わない色刺激によって、CSF を測定する必要がある。

色の CSF は低空間周波数でも感度の低下が見られず、低域通過型 (ローパス) を示す事が明らかになっている [2]。また、大部分の空間的範囲にわたって、人の色検出システムの CSF はローパス型となる事が明らかになっている。

1.2.2 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が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

1.3 実験の目的

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 1.4 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

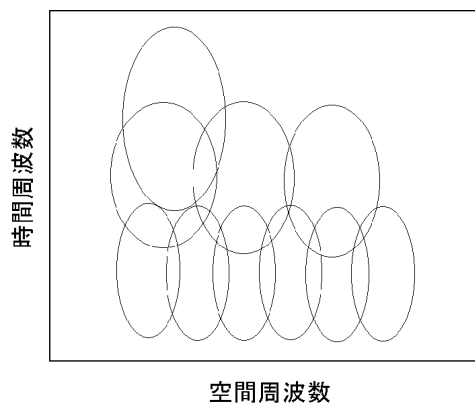


図 1.4 時空間周波数領域でのチャンネルの概念図:楕円はあるチャンネルの感度を持つ領域を示す。チャンネルの数は、時間的に低周波で刺激では、空間周波数チャンネルが 6 程度、高周波では 3 程度、時間周波数方向にはチャンネルの数が 2 か 3 との知見に基づいている。

しくは 3 つのチャンネルしかないとされている。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持つ特性が得られるため、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 [3]。

1.3 実験の目的

これまでの研究では、色刺激に対する空間周波数の影響は明らかにされていない。そこで、色に対するインパルス応答を測定する事で、色に対する空間周波数の存在を確かめ、これにより、色刺激と空間周波数の影響を明らかにできると考えた。

そこで、本研究では実験目的を以下の 3 点に設定した。

1. 空間周波数を持つ色インパルス応答関数を測定

1.3 実験の目的

2. 刺激の空間周波数の変化により、インパルス応答関数の時間変化を比較
3. 時間特性の比較より、色に対する空間周波数チャンネルを検証する

第 2 章

実験手法

2.1 呈示刺激

刺激には、ある空間周波数を持つ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 直径が視角が 3.34° である。刺激の輝度は背景と同じ 10cd/ 。刺激の中心から固視点までの距離は視角 2.81° 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、 $1\text{ frame}=6.67\text{ms}$ となる。ISI は 20.02 、 40.03 、 60.05 、 80.06 、 100.08 、 120.10 、 140.11 、 160.13 、 180.14 、 200.16 、 240.19 、 280.22 、 320.26 、 360.29ms を採用した。前章の図 1.5 より、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 $1\text{ frame}=6.67\text{ms}$ を採用した。但し、黄刺激に関しては 3 frame を用いた。

ディスプレイの背景は、等エネルギー白色 $(x,y)=(0.333,0.333)$ で、輝度は 10cd/ である。

刺激の空間周波数には Gaussian(0.43)、 1.34 、 2.23 、 3.12 、 4.01 、 4.90 、 5.79cpd を採用して実験を行った。この空間周波数を選ぶにあたって、おおよそ 1cpd 間隔になるように配慮した。

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

2.2 装置

るため、高空間周波数では、その眼球運動の影響が大きくなり、刺激の波形形状が網膜状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、網膜状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。

刺激呈示の様子を図 2.1 で示す。

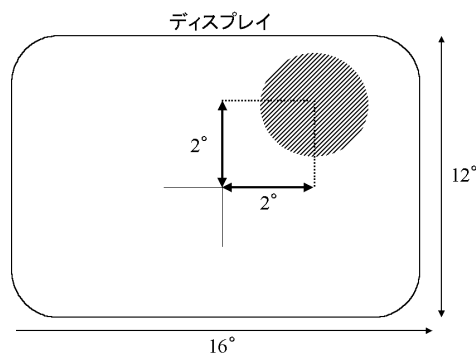


図 2.1 刺激呈示の例

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 (CCID - 121) を使用した。

実験場所は高知工科大学研究棟 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、ファンゲル材や厚さ 5mm の黒色ボード板で作られている。実験ブースには刺激呈示装置 (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事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い色ボード板によって遮光されている。

2.3 測光

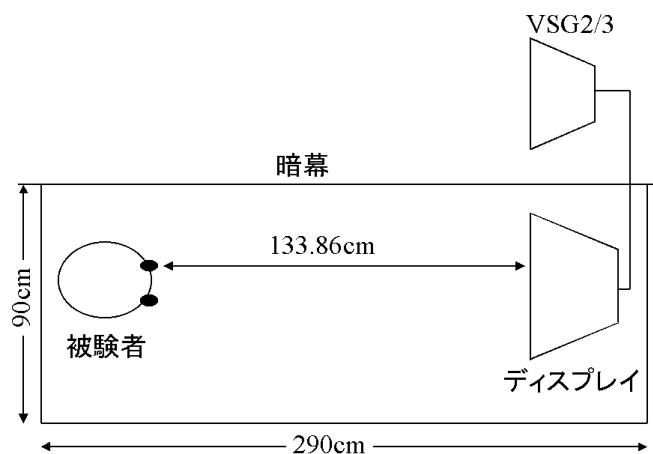


図 2.2 暗室の概略図

被験者からモニタのフレームが見えないよう、モニタに覆いを装着している。被験者は視距離 133.86cm の位置からモニタを注視する。実験は片眼自然視で行い、レンズ系は一切使用していない。

被験者の応答には、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

2.3 測光

実験の前に、測光を行った。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い、調節する必要があった。ディスプレイは画面の 9ヶ所で測光し、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(Monolta) を用いて測光を行った。また、刺激の色度点につい

2.4 実験手順

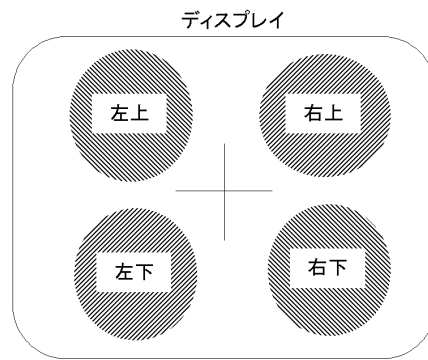


図 2.3 ディスプレイ

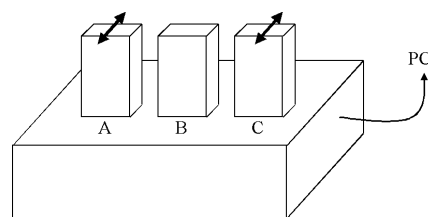


図 2.4 被験者の応答に用いたボタンスイッチ：実験には A と C のボタンのみを使用。
B のボタンは実験の強制終了に割り当てられている

ても DS-1000(Minolta) により測光を行った。

2.4 実験手順

刺激の呈示には 2 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順応する（前順応）。この前順応も 5 分間行う。
3. これら、合計 10 分間の順応が終了すると再びブザーが鳴る。被験者が、ボタンスイッチ A を 1 度奥へ押すと、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。

2.4 実験手順

1つの空間周波数に対し、同じ条件で実験を4回行う。実験は、順応から実験終了まで、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変化を図 2.4 に示す。

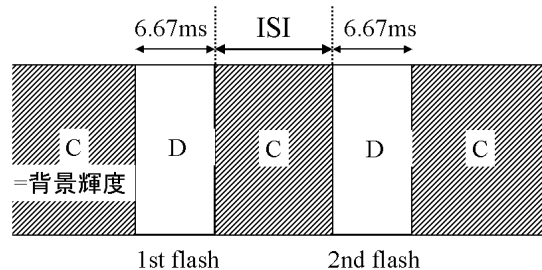


図 2.5 ディスプレイに呈示される刺激の時間的変化：(呈示刺激 D の輝度) = (背景輝度 C)

被験者の応答には 4 AFC 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。

呈示される刺激の色度変化は階段法 (two-down one-up) を用いて変化させた。この時、first flash と second flash の色度は常に同じに変化する。刺激の色度レベルの変化は $0.005(\text{cd}/\text{m}^2)$ 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 ($0.025\text{cd}/\text{m}^2$) 色度レベルが変化する。閾値には 3 回目から 6 回目の reversal における刺激色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、刺激の色度レベルは 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色度レベルは 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。

2.5 データ解析方法

2.5 データ解析方法

2.5.1 Burr and Marrone のモデル式

実験により、ある空間周波数を持つ色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。

実験データより得たコントラスト閾値の平均値よりインパルス応答関数を仮定するのに Burr and Marrone のモデル式 (2.1) を用いた。

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

但しインパルス応答 $H(t)$ は以下ようになる。

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

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

2.5.2 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。

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

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、刺激の色度レベルを階段法 (two-down one-up) によって変化させているので、 $p=\sqrt{2}/2$ となる。

2.5.3 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 $I(t+\tau)$

2.6 モデルとデータの fitting

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いう定常性の仮定がなされている。

2.6 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と、ある係数セット a_0, a_1, a_2, a_3 を仮定した時に式 (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、その式におけるインパルス応答関数と仮定した。

第 3 章

実験データと解析結果

実験データを左側に、またそれより仮定されたインパルス応答関数を右側に示す。実験データは、横軸を ISI (呈示間隔)、縦軸をコントラスト閾値を対数で表している。また図中の × 印は、データの平均値を表している。

被験者 M.H のについては、ページ上半分に示す。また、下半分には被験者 T.S について紹介する。また、青、黄、赤、緑と順を追って示す。

3.1 被験者 M.H について

今回使用した 4 色 (赤、緑、黄、青) の範囲で、どの場合も緩やかな傾きのモデル閾値を検出できた。実験データより仮定したインパルス応答関数は、過去の研究でも求められている一般的な一相性の波形を示した。

3.2 被験者 T.S について

4 色のうち 2 色で、被験者 M.H と異なった結果となった。まず、赤緑は同じ一相性の結果が得られた。しかし青・黄に関しては、呈示間隔によってモデル閾値にばらつきが生じ、このためにインパルス応答関数の波形が乱れている。青刺激に対する 6 つの解析結果のうち 3 つが多相性、残りの 3 つが一相性を示した。黄刺激に対する 6 つの解析結果のうち、1 つは多相性、残り 5 つが一相性となった。この原因については、後の考察で述べたい。実験結果を紹介する際、
、
、
、
、
×、
実線のシンボルはそれぞれ 1 回目データ、2 回

3.3 青刺激に対して

目データ、3 回目データ、4 回目データ、平均閾値、モデル閾値を表している。

3.3 青刺激に対して

3.3.1 空間周波数 0.43cpd

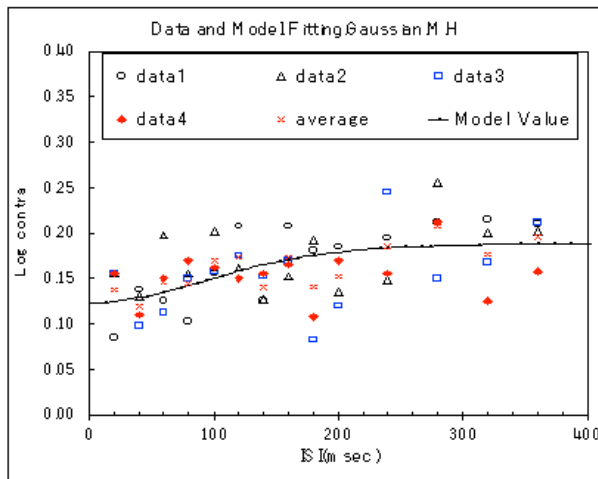


図 3.1 M.H 実験結果 0.43cpd

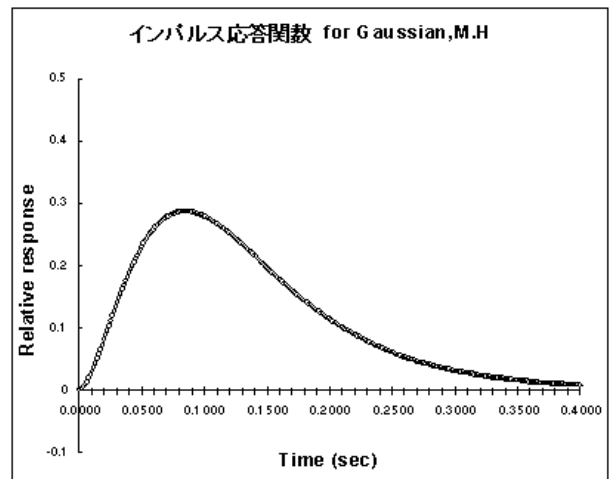


図 3.2 M.H インパルス応答関数 0.43cpd

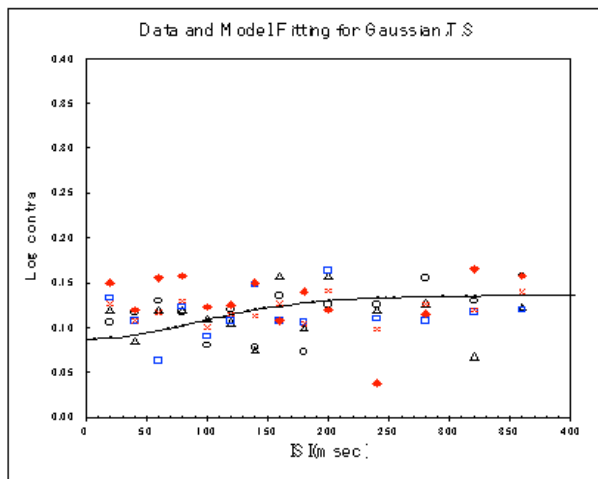


図 3.3 T.S 実験結果 0.43cpd

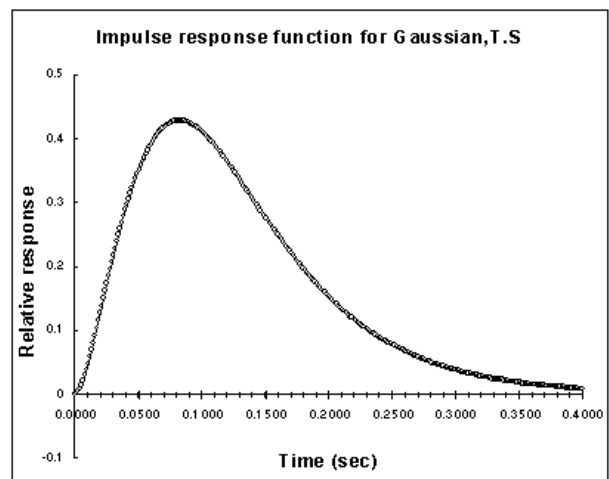


図 3.4 T.S インパルス応答関数 0.43cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.2 空間周波数 1.34cpd

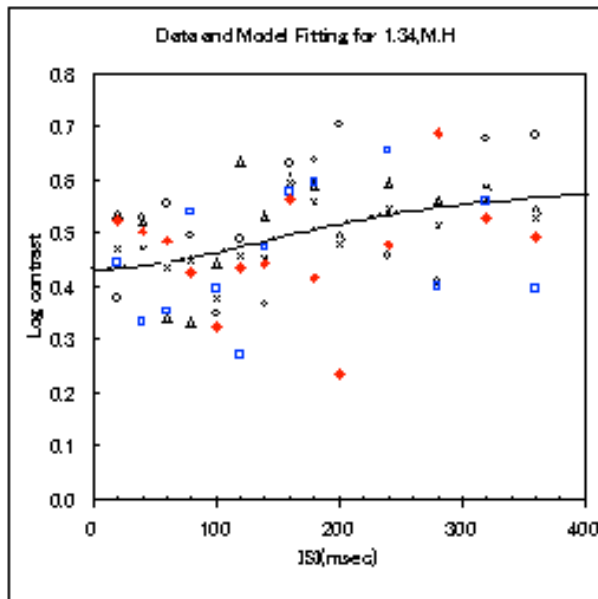


図 3.5 M.H 実験結果 1.34cpd

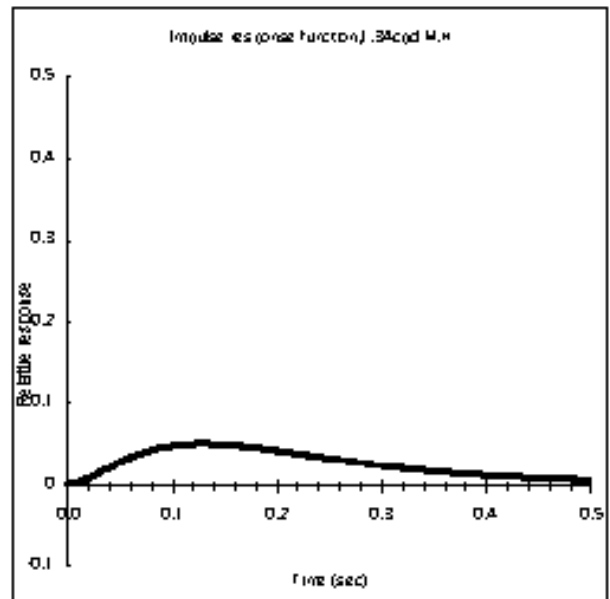


図 3.6 M.H インパルス応答関数 1.34cpd

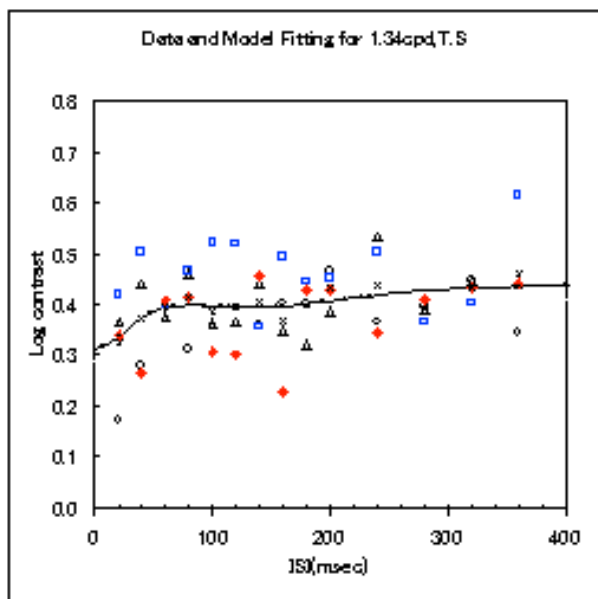


図 3.7 T.S 実験結果 1.34cpd

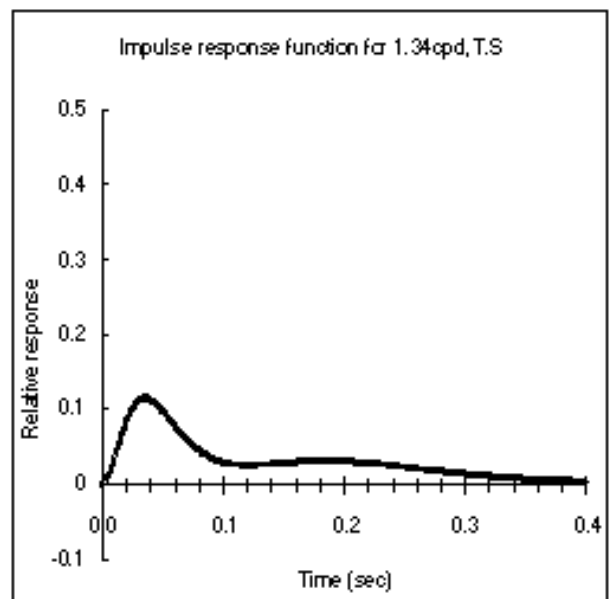


図 3.8 T.S インパルス応答関数 1.34cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.3 空間周波数 2.23cpd

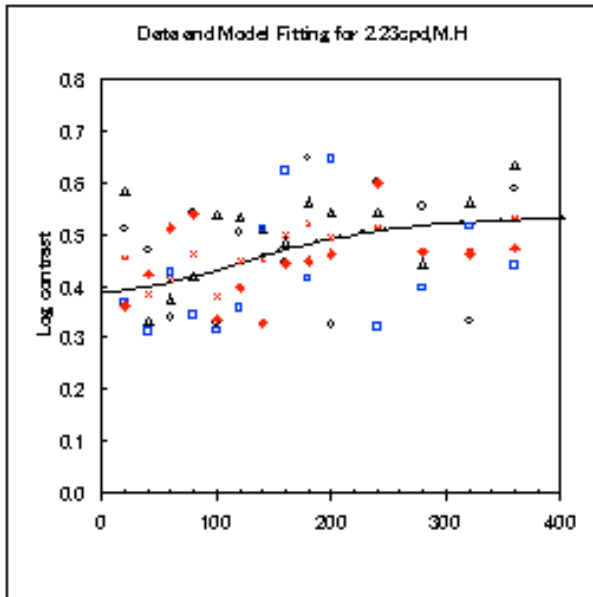


図 3.9 M.H 実験結果 2.23cpd

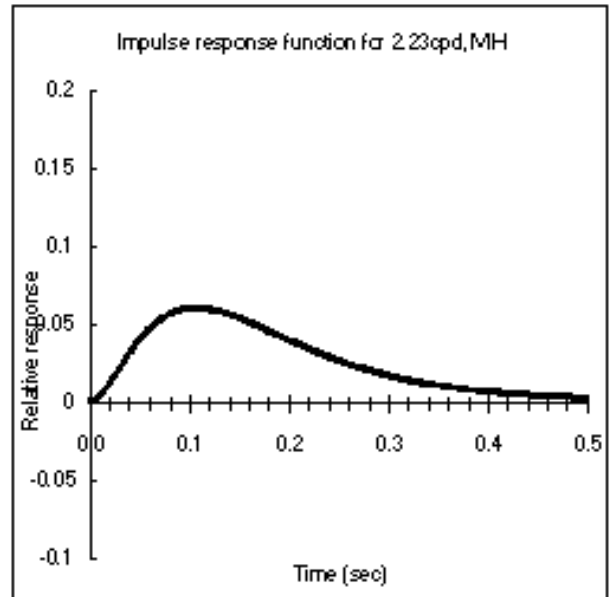


図 3.10 M.H インパルス応答関数 2.23cpd

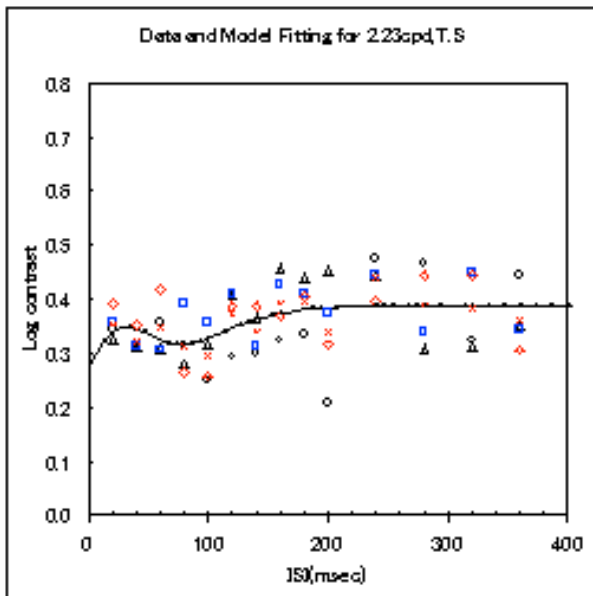


図 3.11 T.S 実験結果 2.23cpd

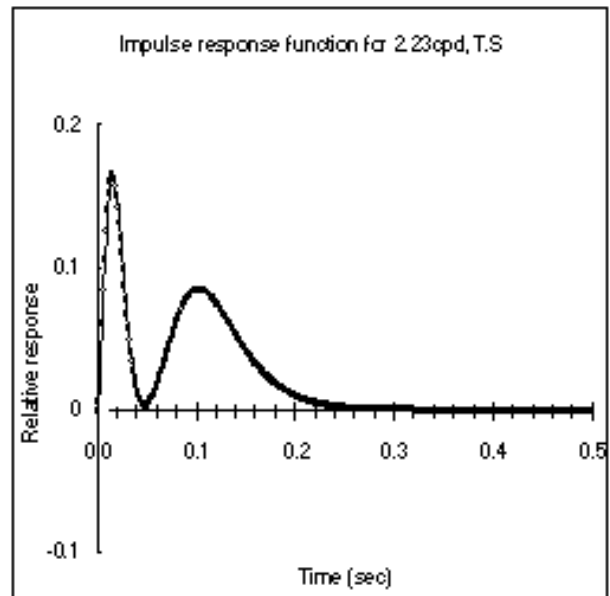


図 3.12 T.S インパルス応答関数 2.23cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.4 空間周波数 3.12cpd

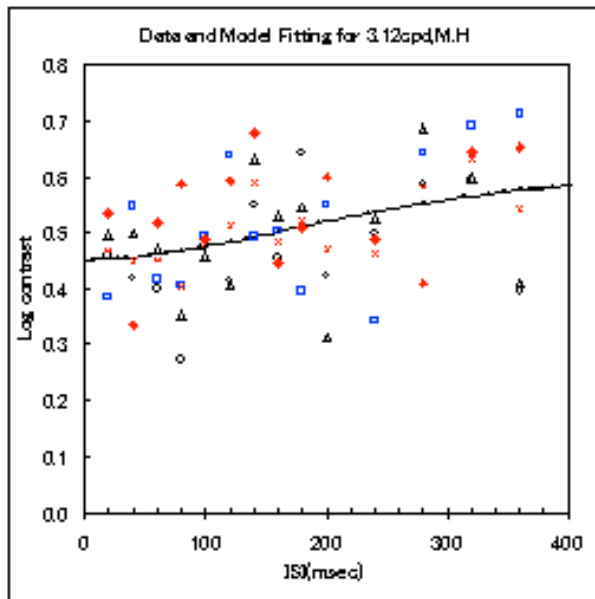


図 3.13 M.H 実験結果 3.12cpd

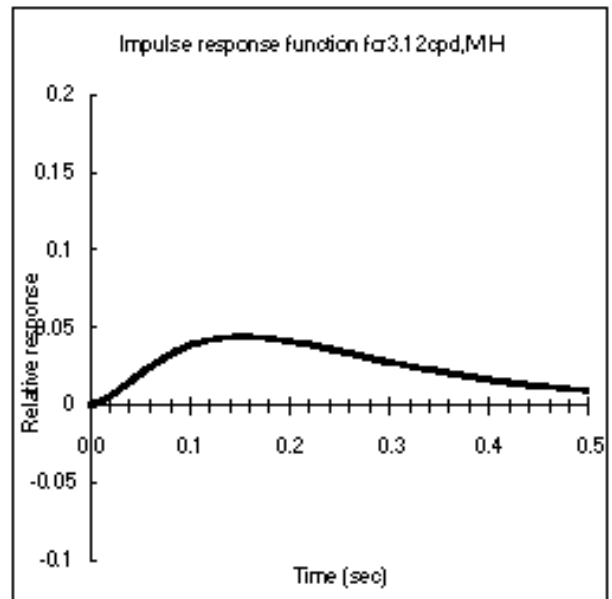


図 3.14 M.H インパルス応答関数 3.12cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.5 空間周波数 4.01cpd

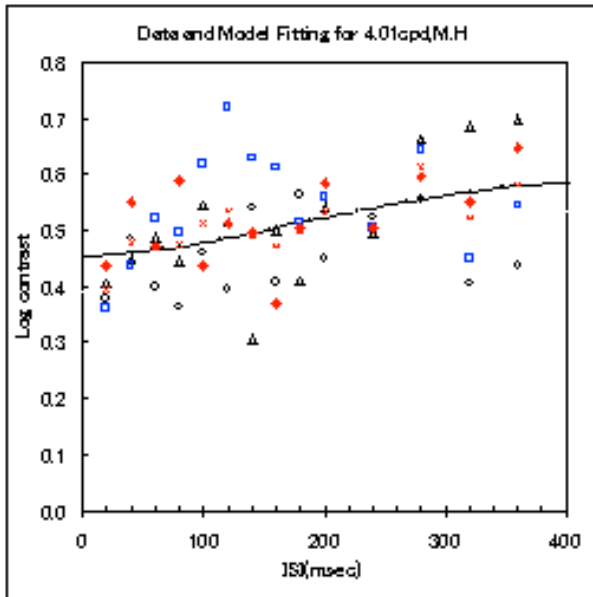


図 3.15 M.H 実験結果 4.01cpd

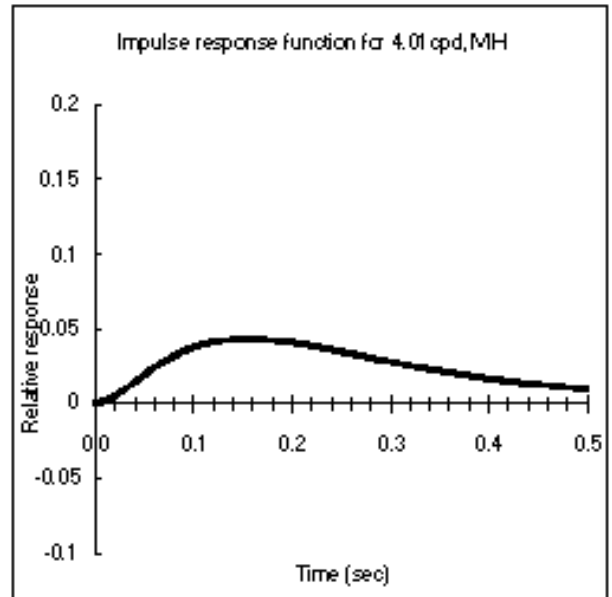


図 3.16 M.H インパルス応答関数 4.01cpd

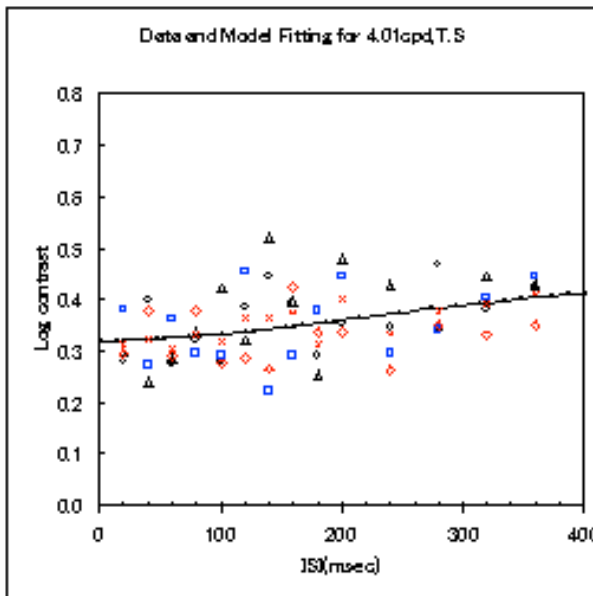


図 3.17 T.S 実験結果 4.01cpd

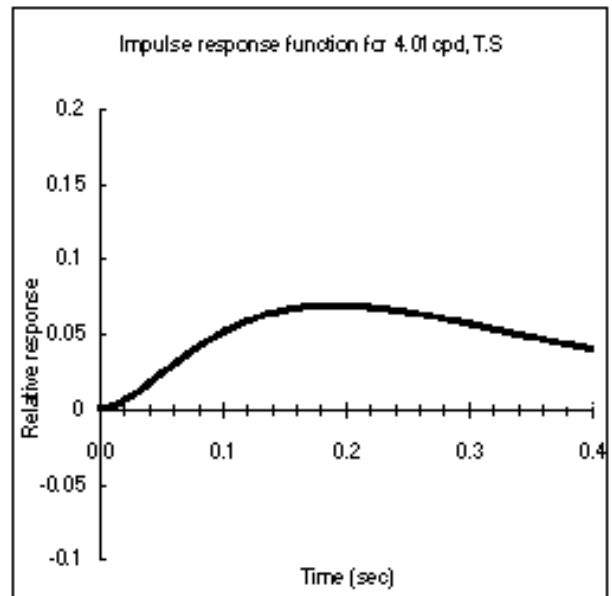


図 3.18 T.S インパルス応答関数 4.01cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.6 空間周波数 4.90cpd

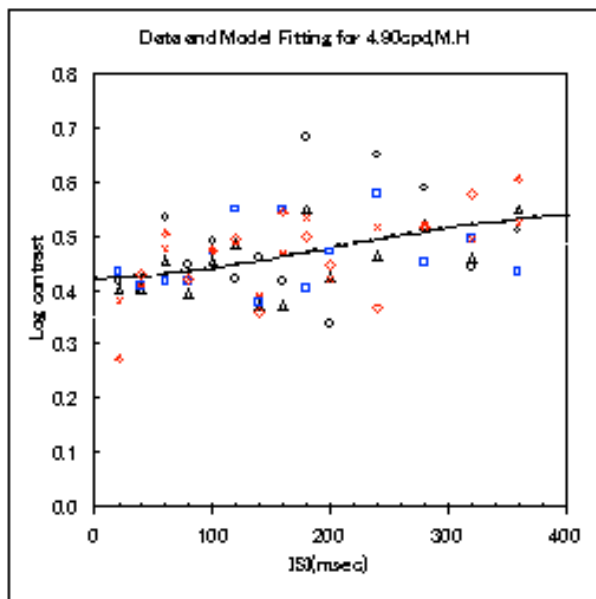


図 3.19 M.H 実験結果 4.90cpd

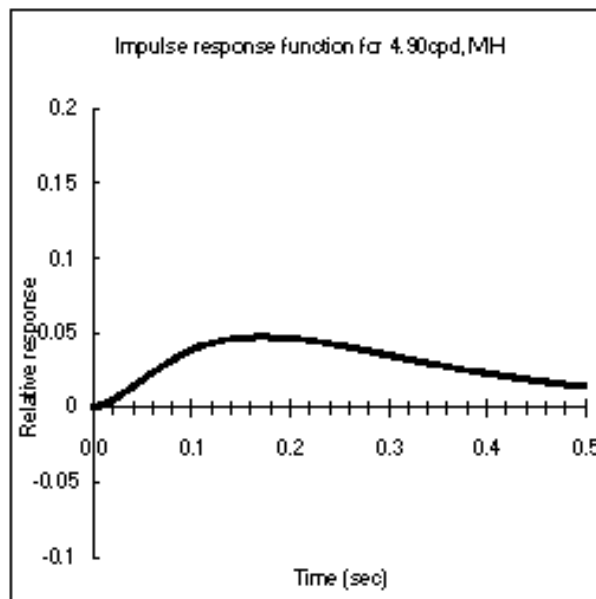


図 3.20 M.H インパルス応答関数 4.90cpd

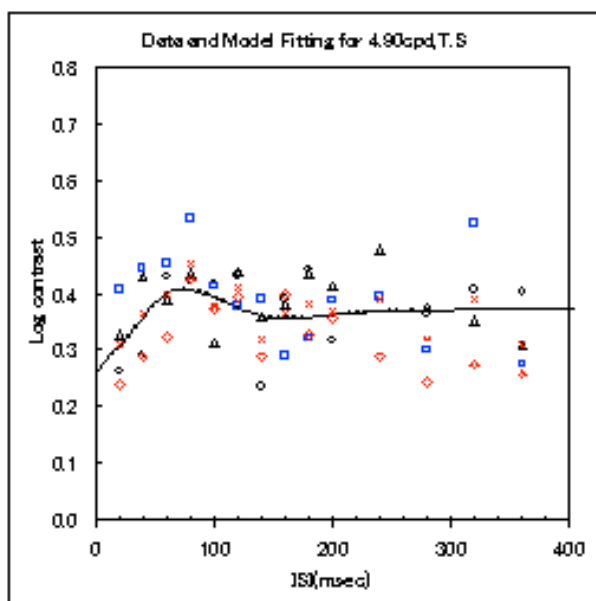


図 3.21 T.S 実験結果 4.90cpd

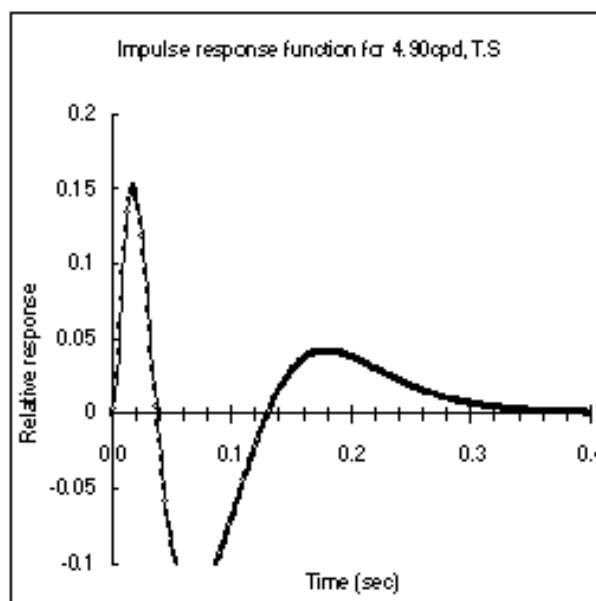


図 3.22 T.S インパルス応答関数 4.90cpd

3.3 青刺激に対して

3.3.7 空間周波数 5.79cpd

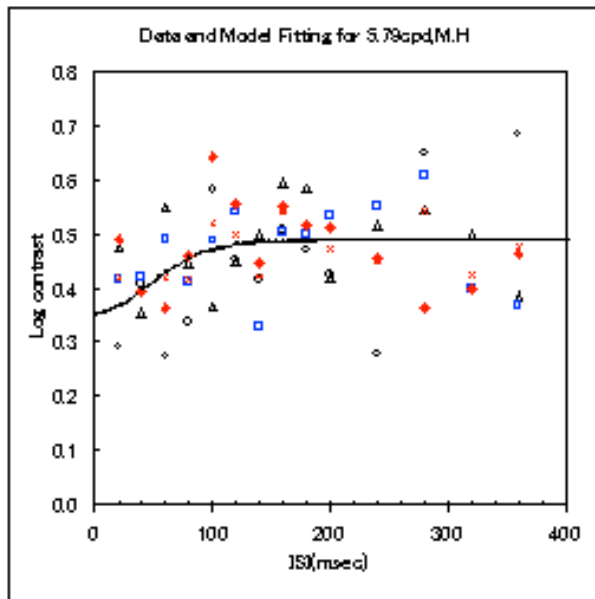


図 3.23 M.H 実験結果 5.79cpd

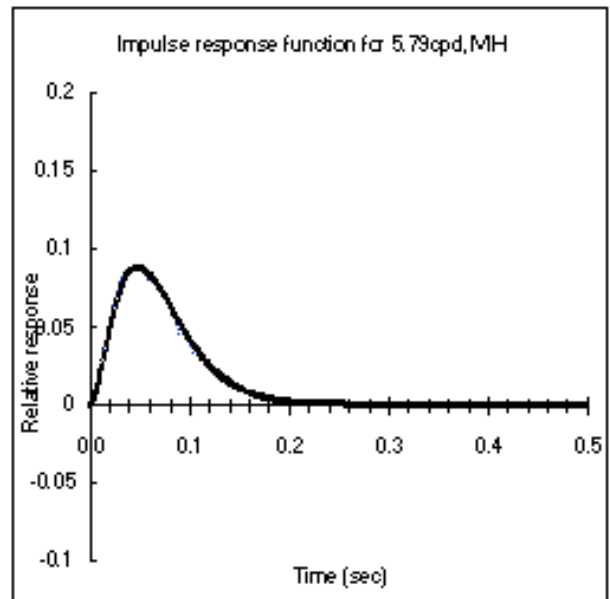


図 3.24 M.H インパルス応答関数 5.79cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4 黄刺激に対して

3.4.1 空間周波数 0.43cpd

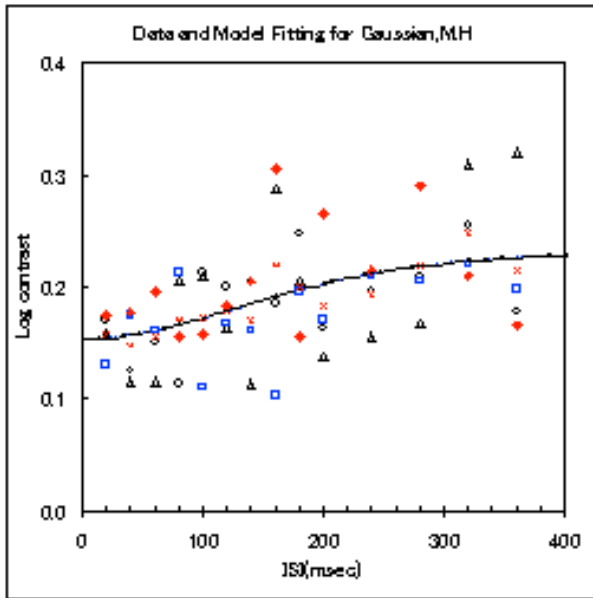


図 3.25 M.H 実験結果 0.43cpd

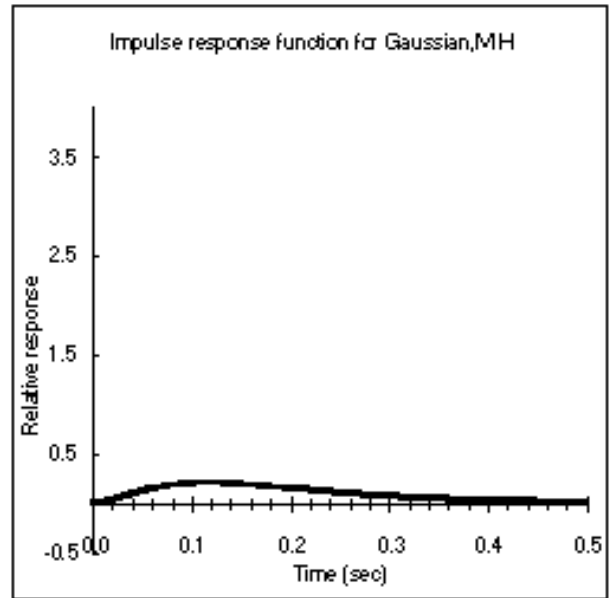


図 3.26 M.H インパルス応答関数 0.43cpd

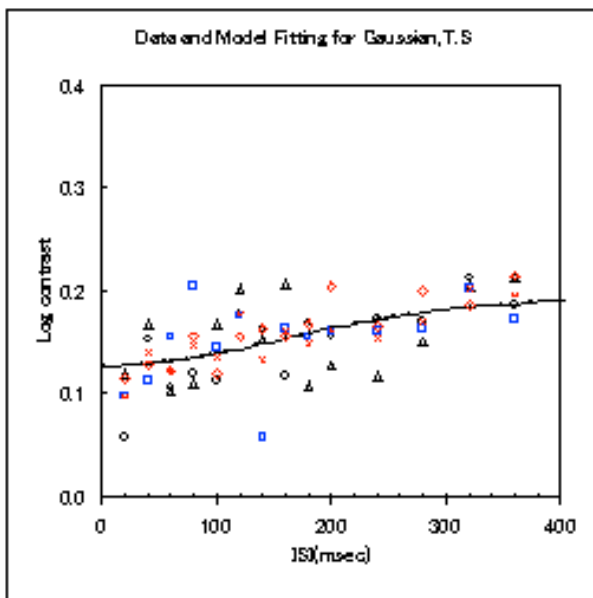


図 3.27 T.S 実験結果 0.43cpd

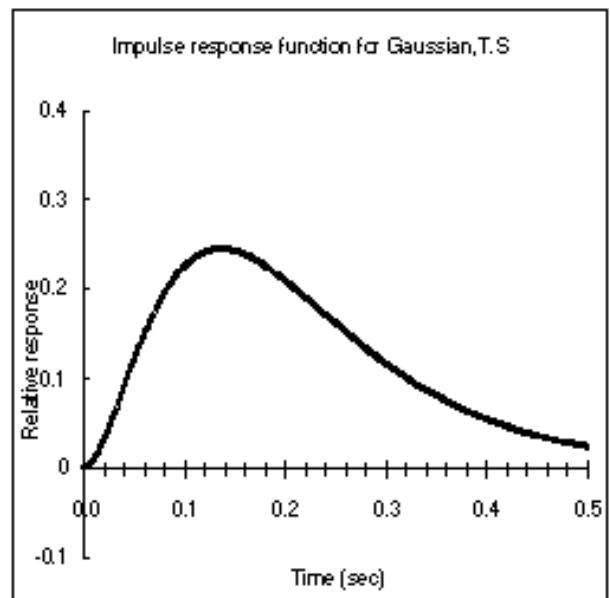


図 3.28 T.S インパルス応答関数 0.43cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.2 空間周波数 1.34cpd

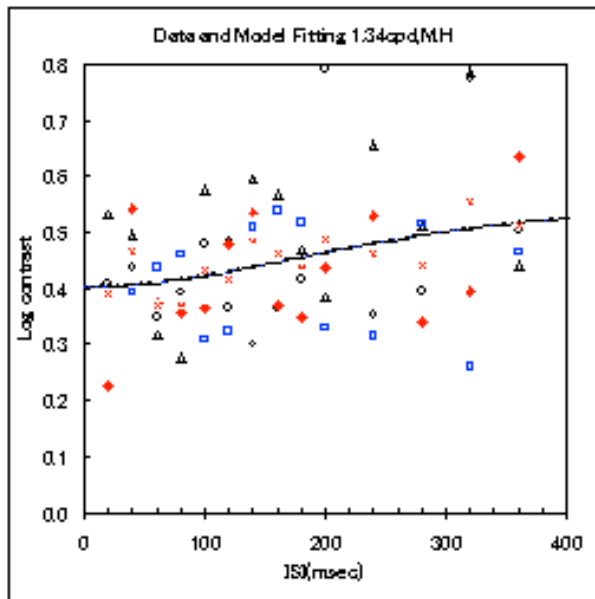


図 3.29 M.H 実験結果 1.34cpd

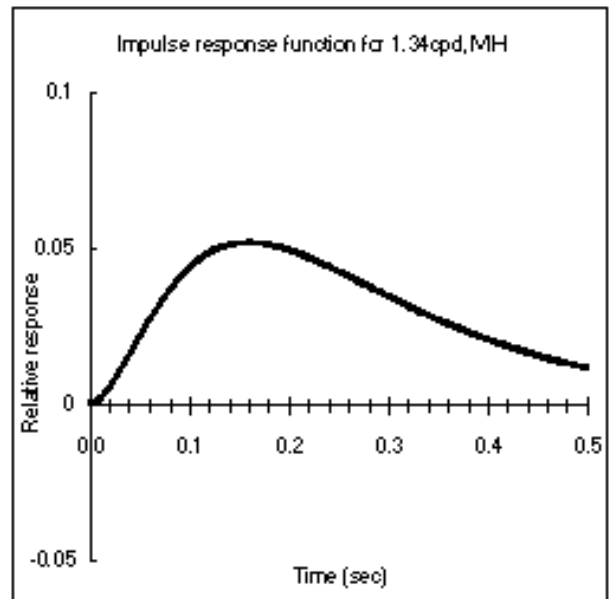


図 3.30 M.H インパルス応答関数 1.34cpd

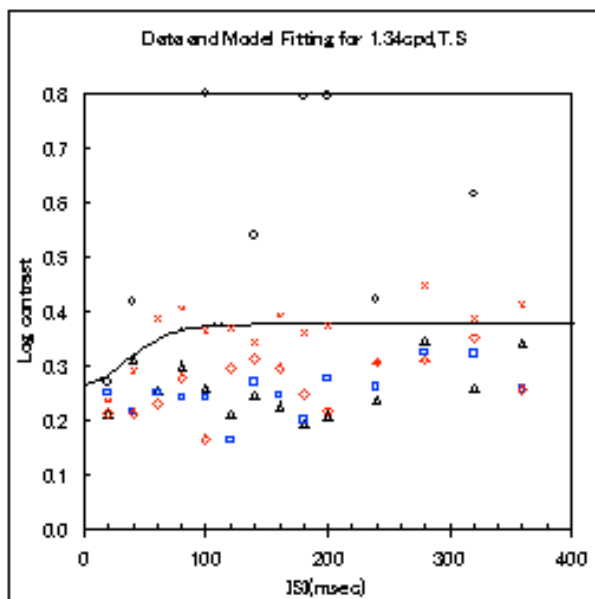


図 3.31 T.S 実験結果 1.34cpd

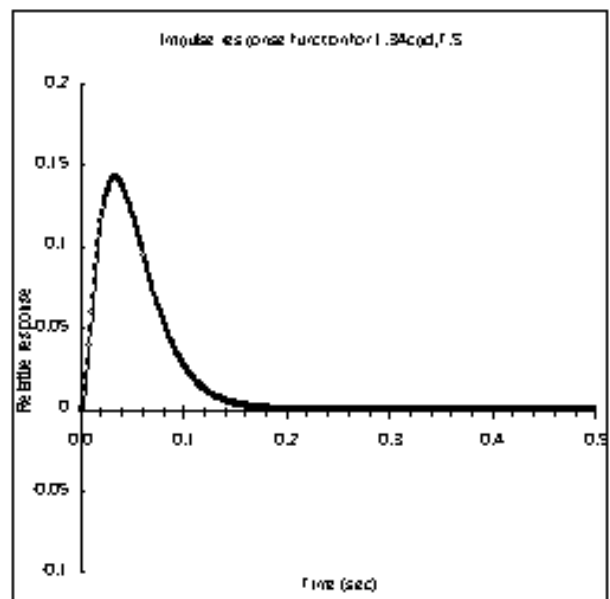


図 3.32 T.S インパルス応答関数 1.34cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.3 空間周波数 2.23cpd

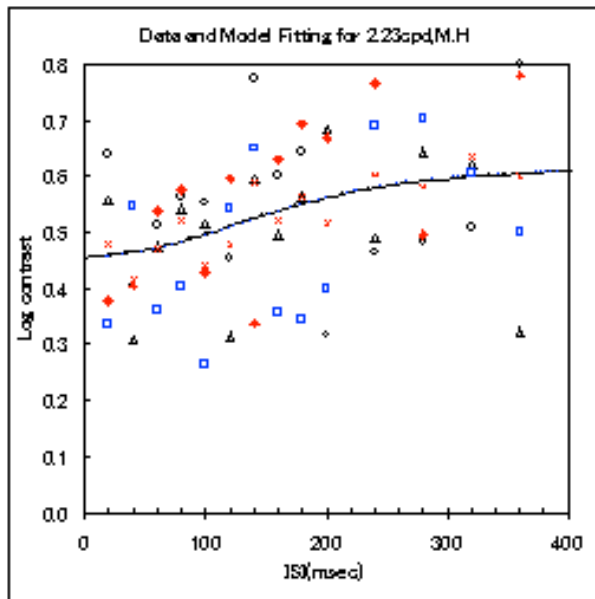


図 3.33 M.H 実験結果 2.23cpd

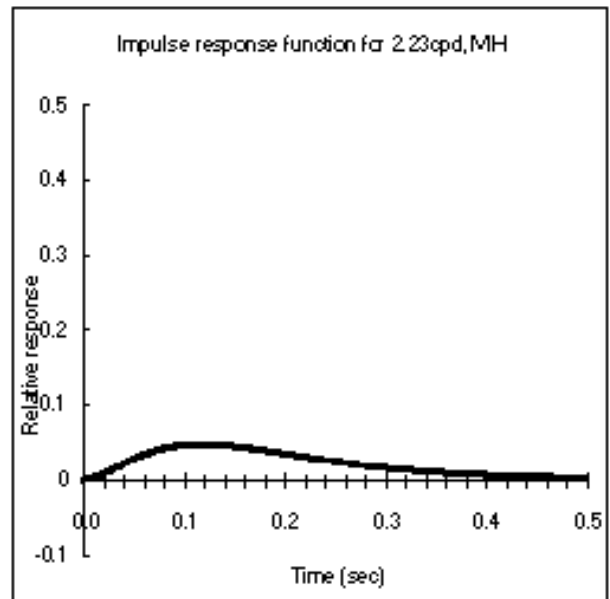


図 3.34 M.H インパルス応答関数 2.23cpd

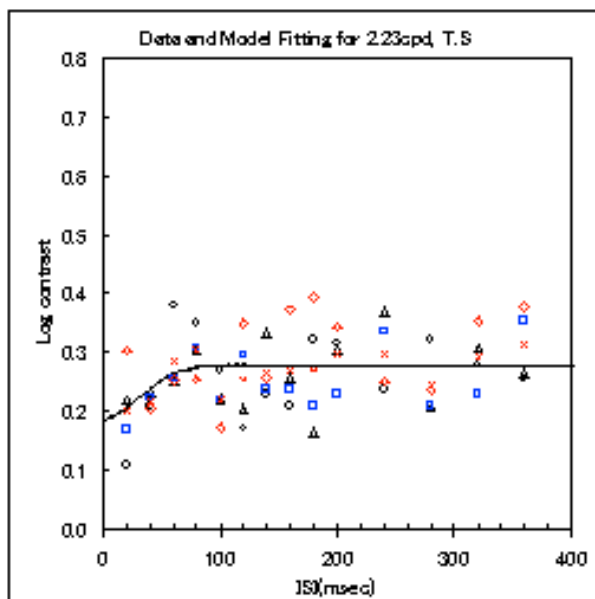


図 3.35 T.S 実験結果 2.23cpd

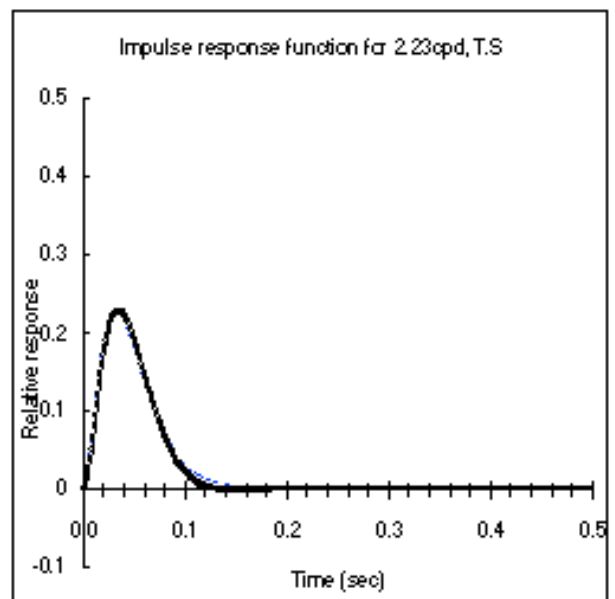


図 3.36 T.S インパルス応答関数 2.23cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.4 空間周波数 3.12cpd

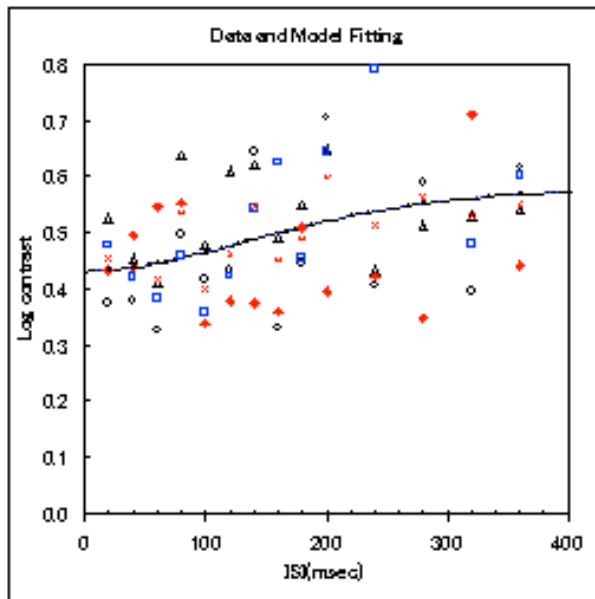


図 3.37 M.H 実験結果 3.12cpd

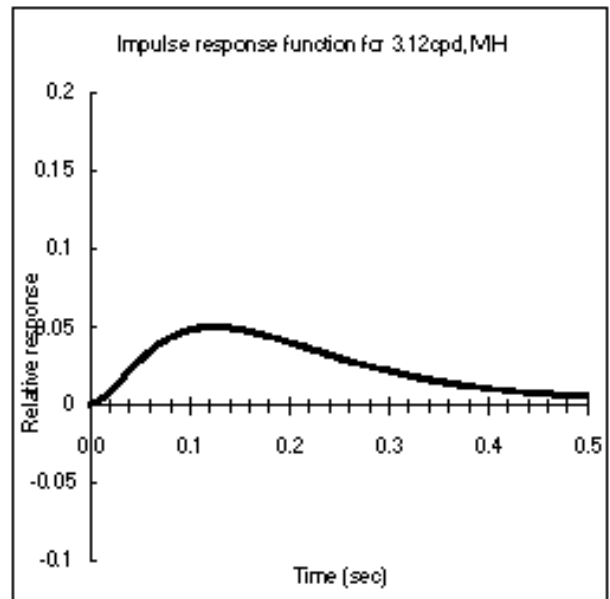


図 3.38 M.H インパルス応答関数 3.12cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.5 空間周波数 4.01cpd

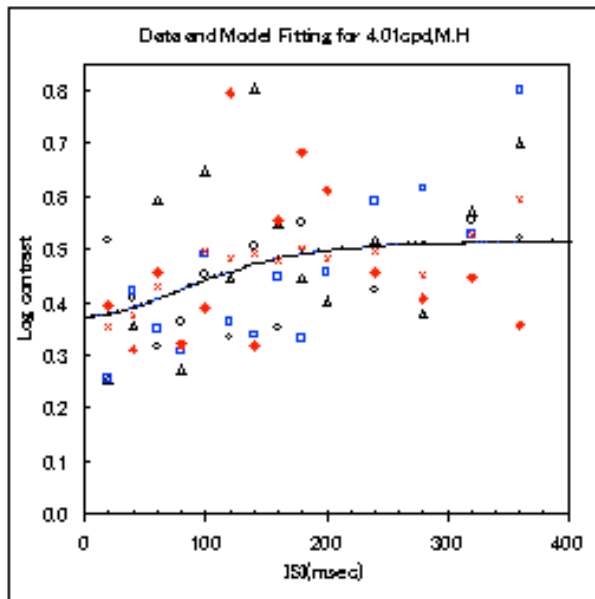


図 3.39 M.H 実験結果 4.01cpd

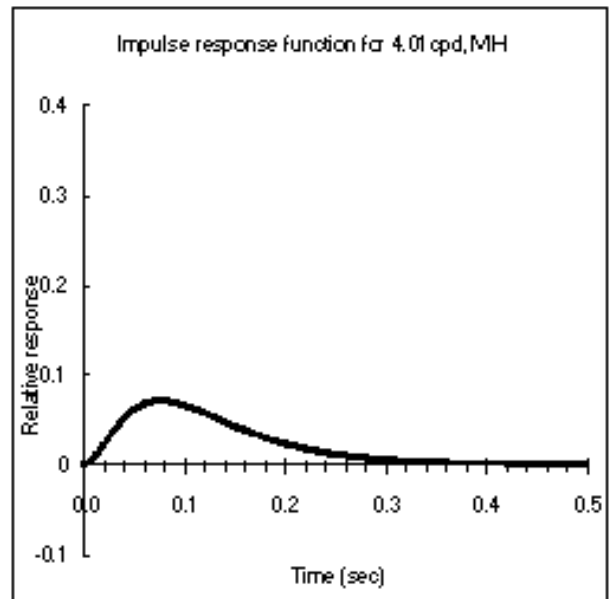


図 3.40 M.H インパルス応答関数 4.01cpd

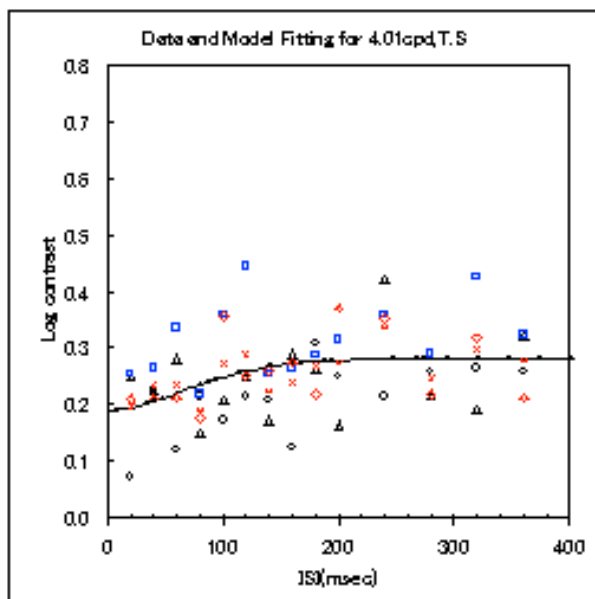


図 3.41 T.S 実験結果 4.01cpd

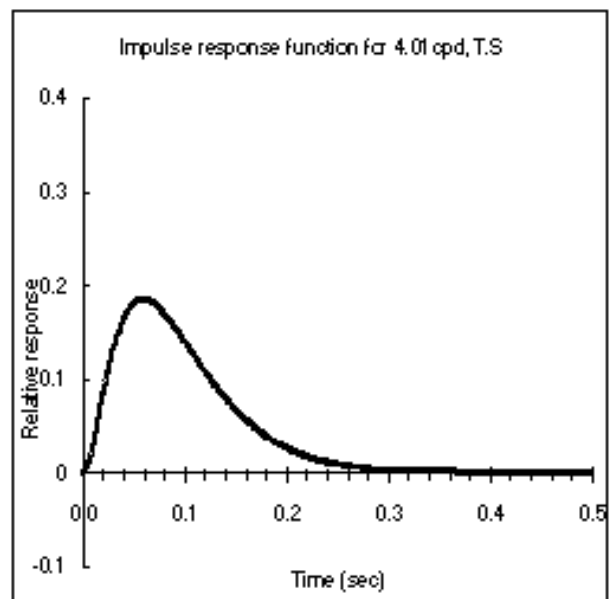


図 3.42 T.S インパルス応答関数 4.01cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.6 空間周波数 4.90cpd

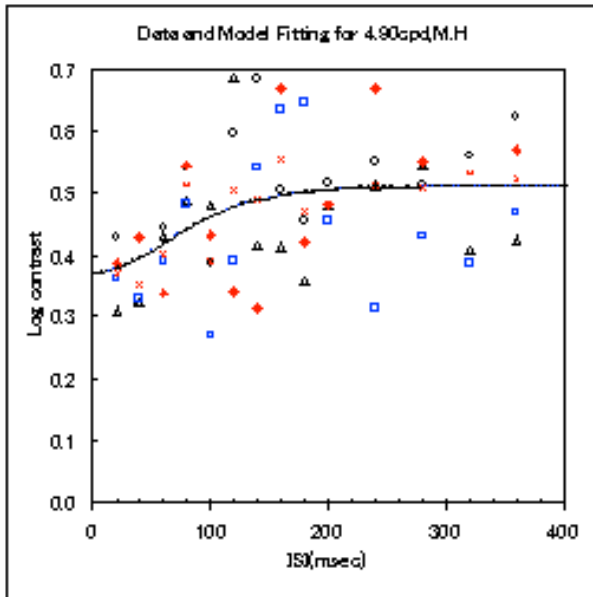


図 3.43 M.H 実験結果 4.90cpd

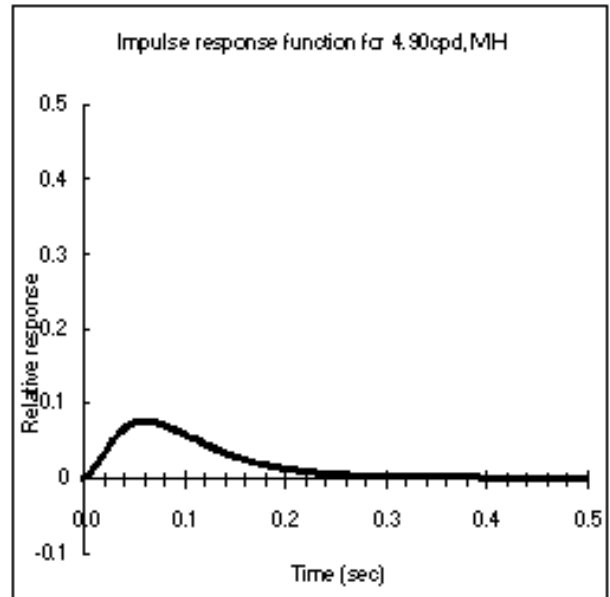


図 3.44 M.H インパルス応答関数 4.90cpd

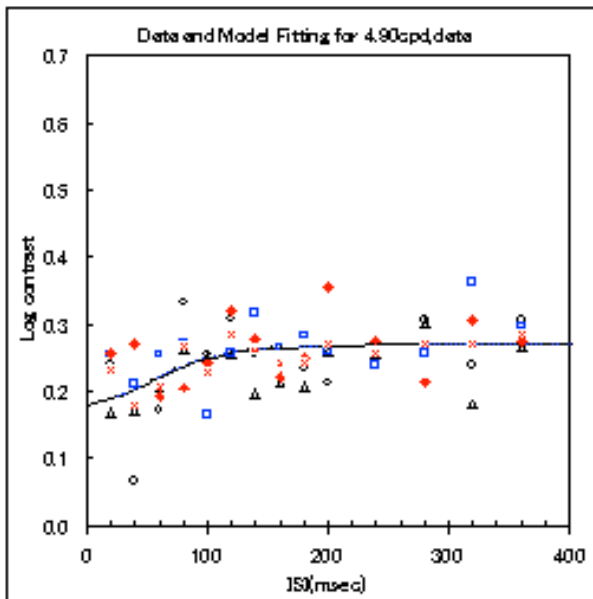


図 3.45 T.S 実験結果 4.90cpd

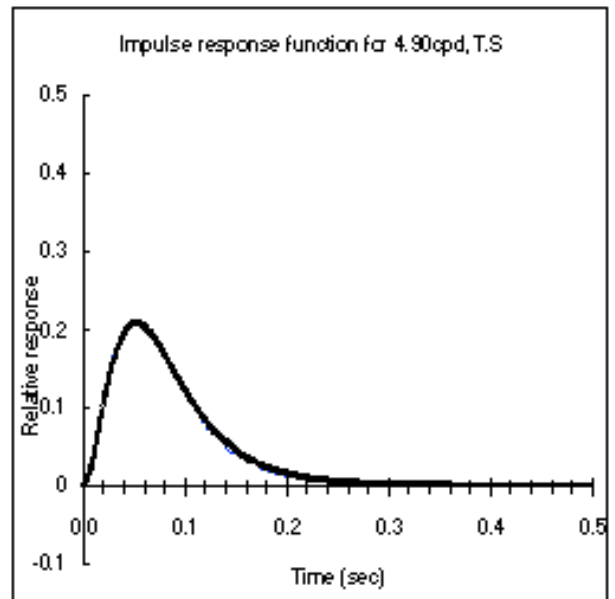


図 3.46 T.S インパルス応答関数 4.90cpd

3.4 黄刺激に対して

3.4.7 空間周波数 5.79cpd

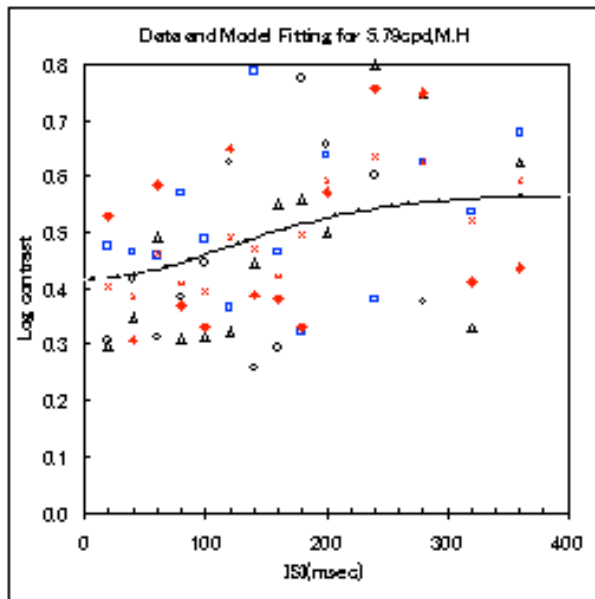


図 3.47 T.S 実験結果 5.79cpd

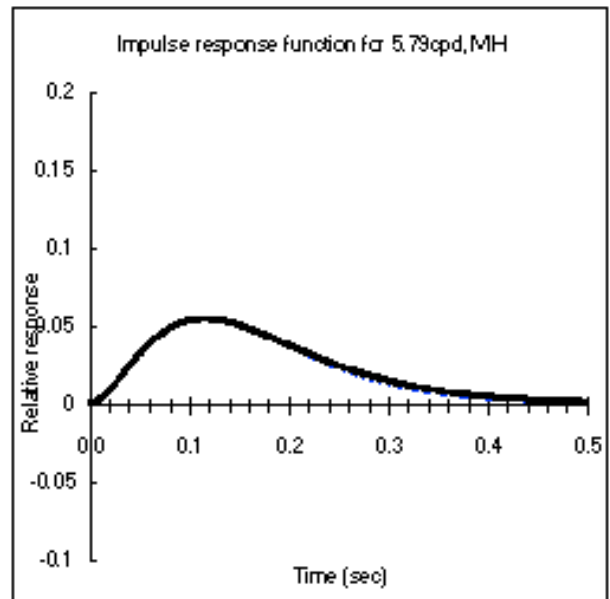


図 3.48 T.S インパルス応答関数 5.79cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5 赤刺激に対して

3.5.1 空間周波数 0.43cpd

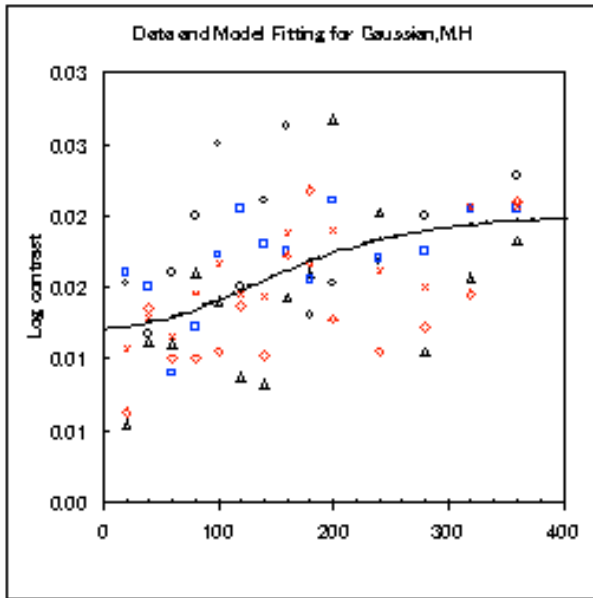


図 3.49 M.H 実験結果 0.43cpd

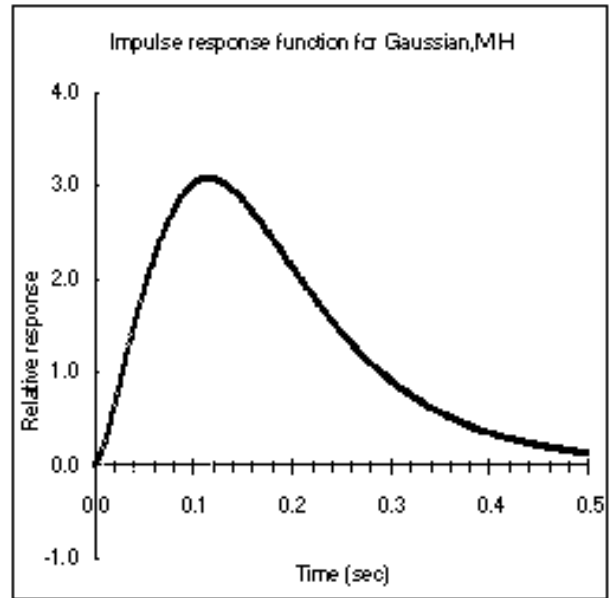


図 3.50 M.H インパルス応答関数 0.43cpd

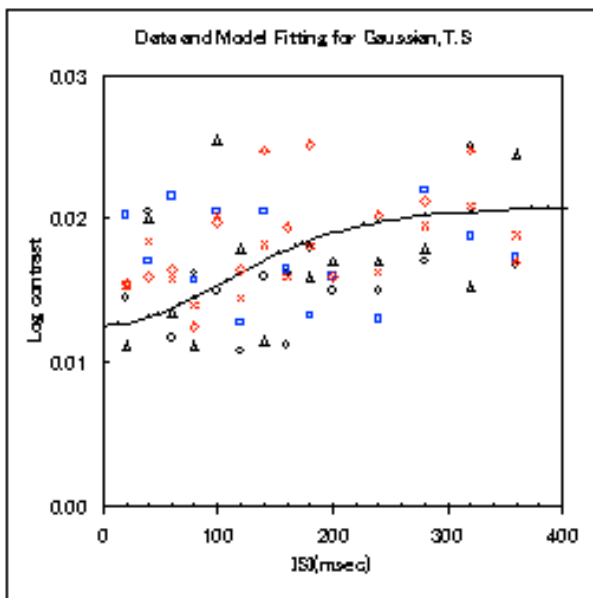


図 3.51 T.S 実験結果 0.43cpd

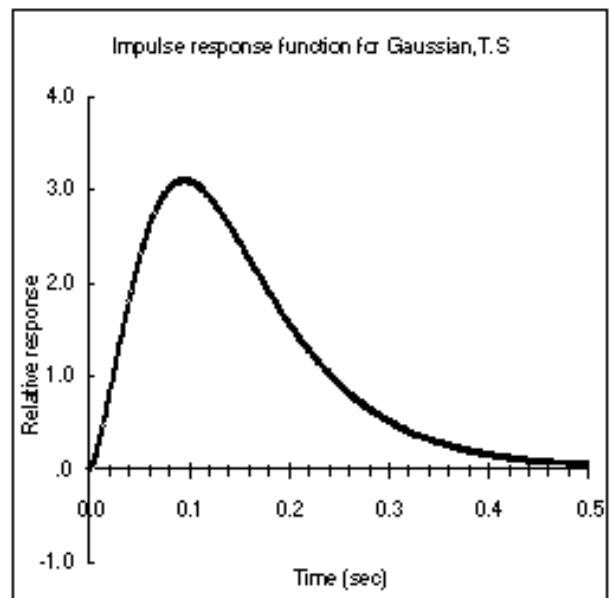


図 3.52 T.S インパルス応答関数 0.43cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.2 空間周波数 1.34cpd

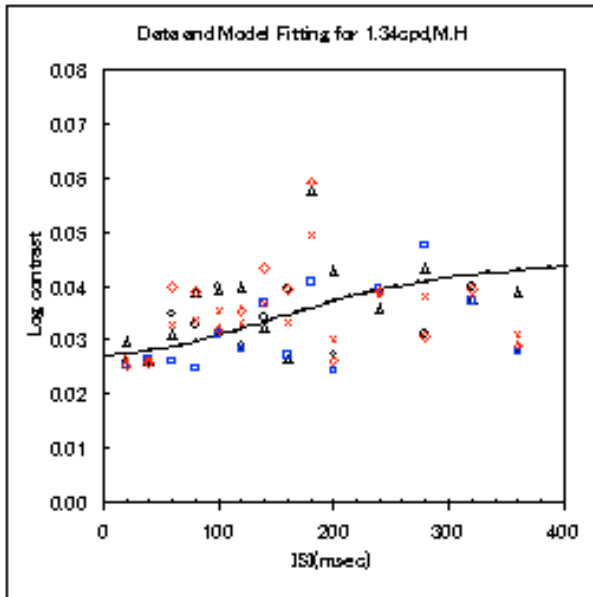


図 3.53 M.H 実験結果 1.34cpd

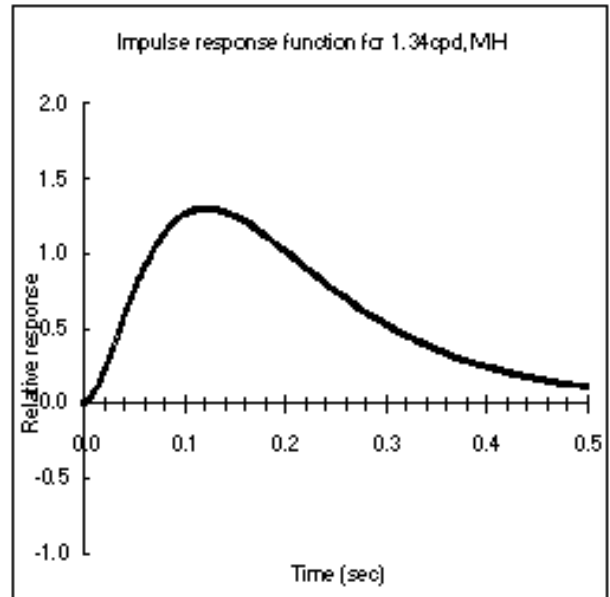


図 3.54 M.H インパルス応答関数 1.34cpd

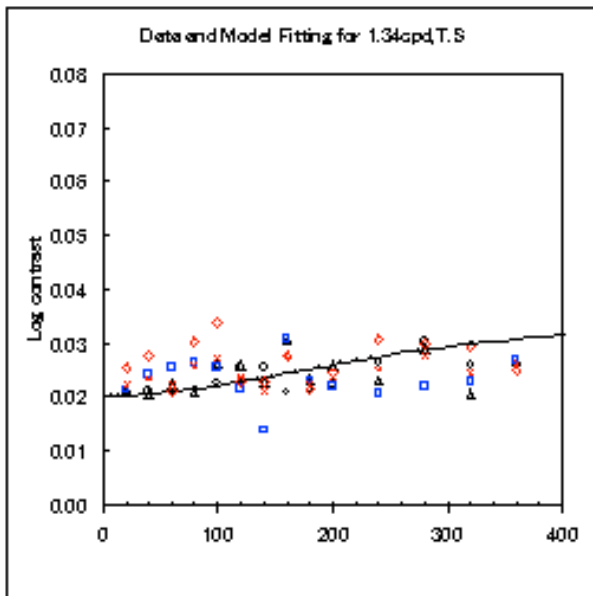


図 3.55 T.S 実験結果 1.34cpd

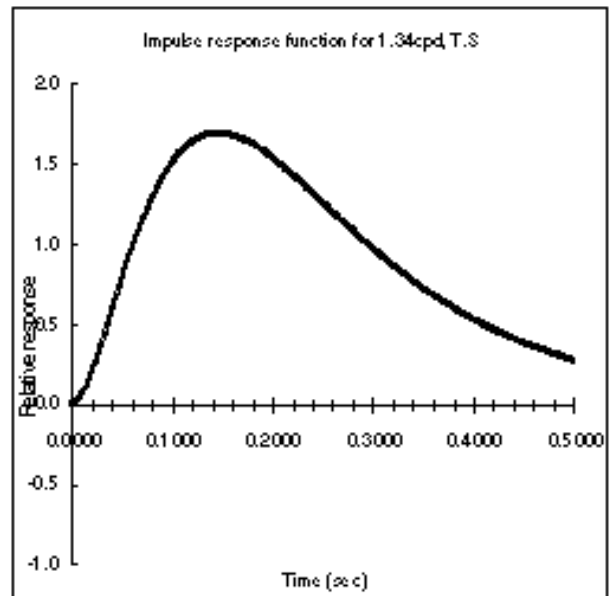


図 3.56 T.S インパルス応答関数 1.34cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.3 空間周波数 2.23cpd

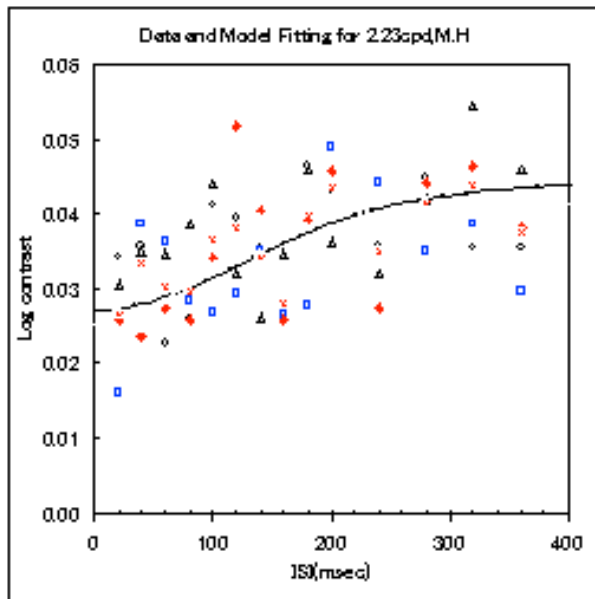


図 3.57 M.H 実験結果 2.23cpd

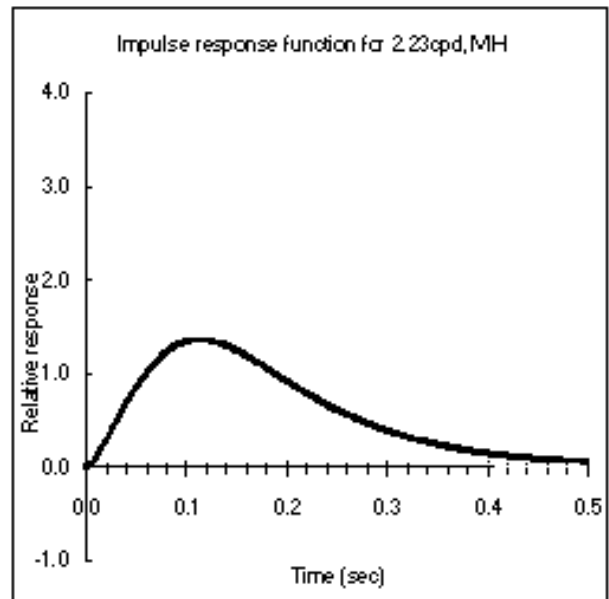


図 3.58 M.H インパルス応答関数 2.23cpd

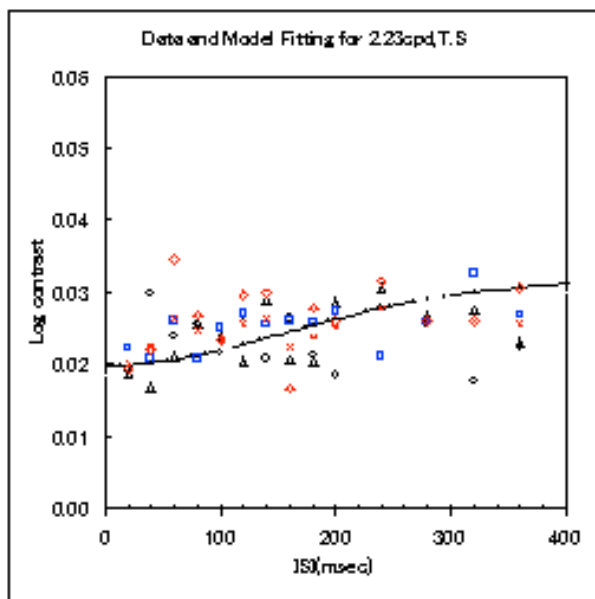


図 3.59 T.S 実験結果 2.23cpd

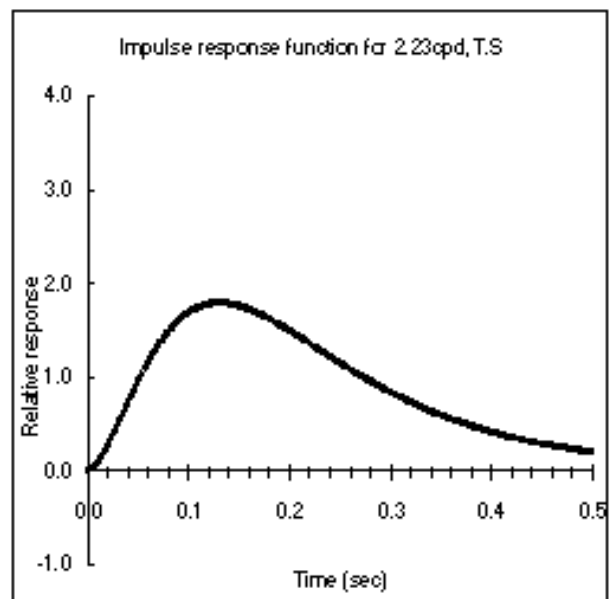


図 3.60 T.S インパルス応答関数 2.23cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.4 空間周波数 3.12cpd

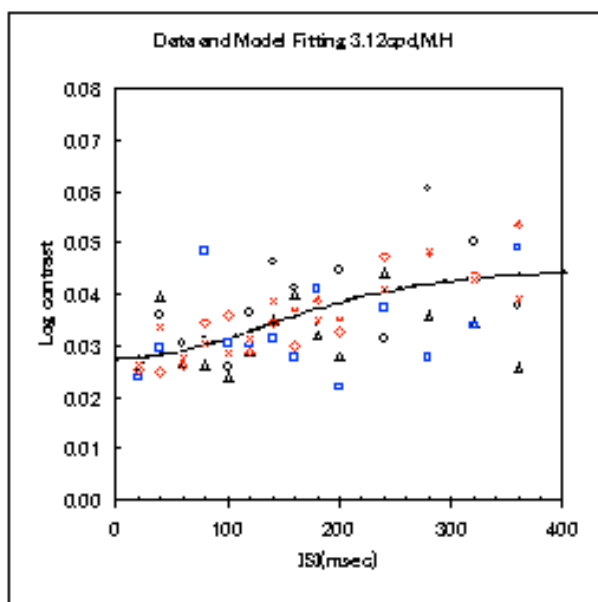


図 3.61 M.H 実験結果 3.12cpd

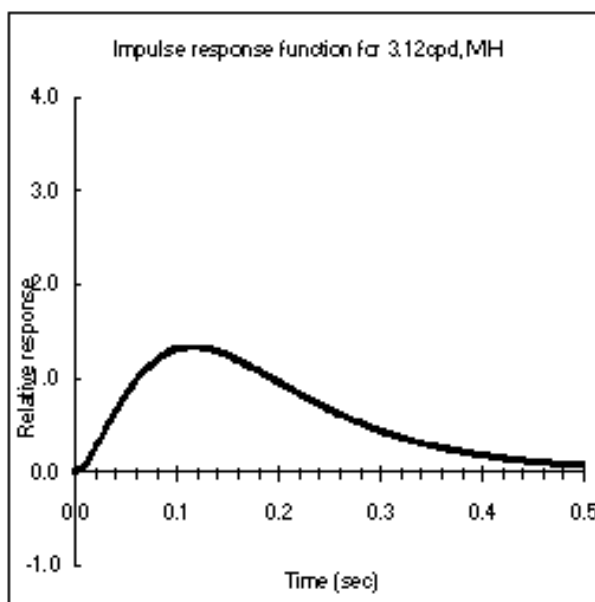


図 3.62 M.H インパルス応答関数 3.12cpd

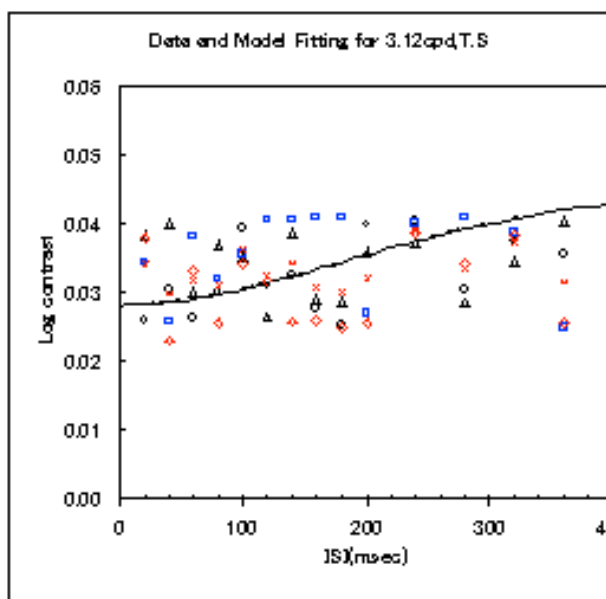


図 3.63 T.S 実験結果 3.12cpd

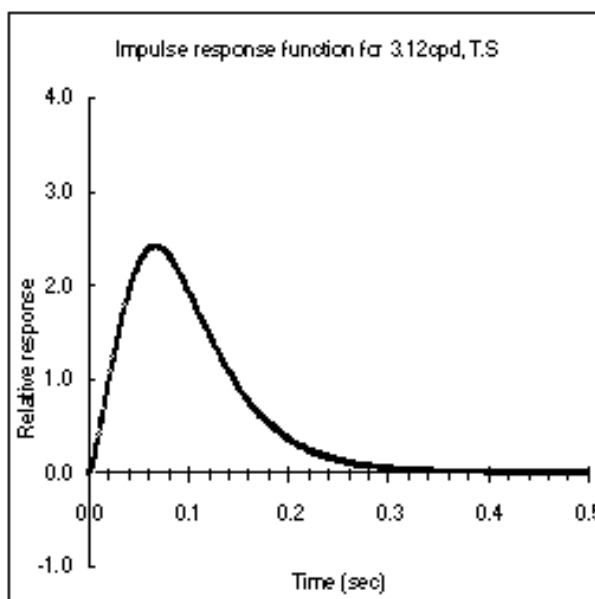


図 3.64 T.S インパルス応答関数 3.12cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.5 空間周波数 4.01cpd

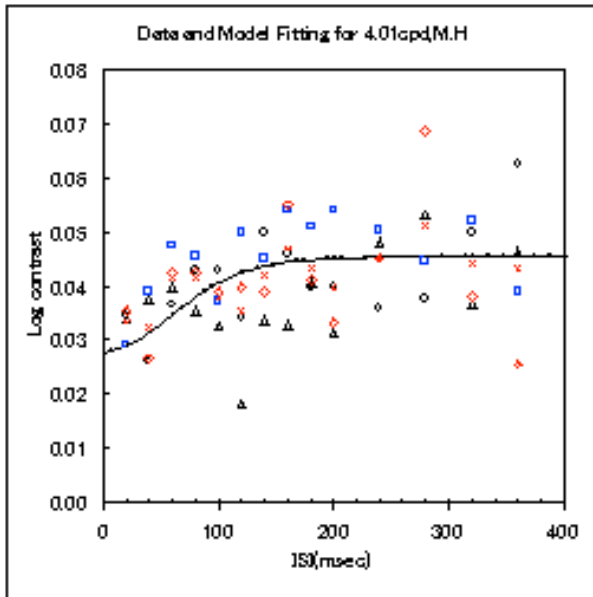


図 3.65 M.H 実験結果 4.01cpd

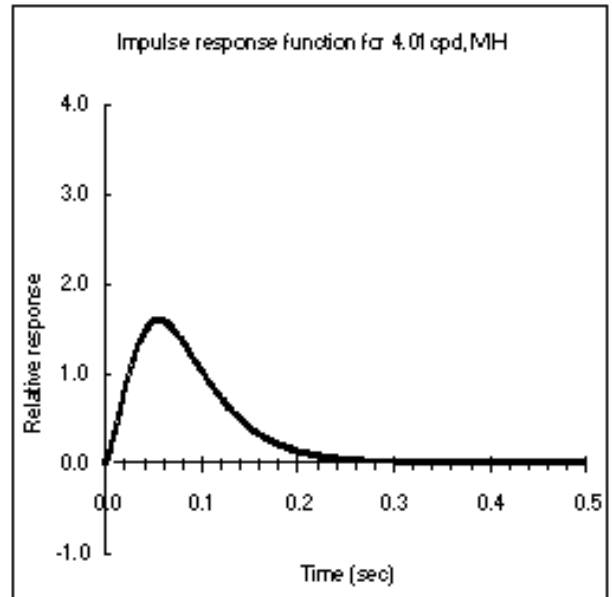


図 3.66 M.H インパルス応答関数 4.01cpd

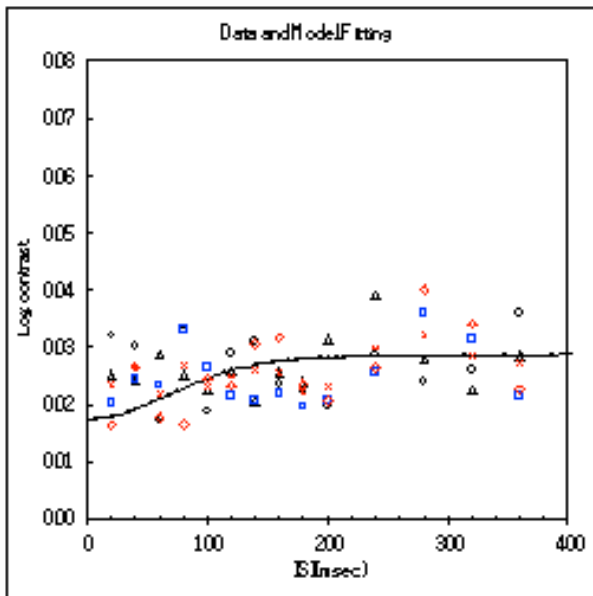


図 3.67 T.S 実験結果 4.01cpd

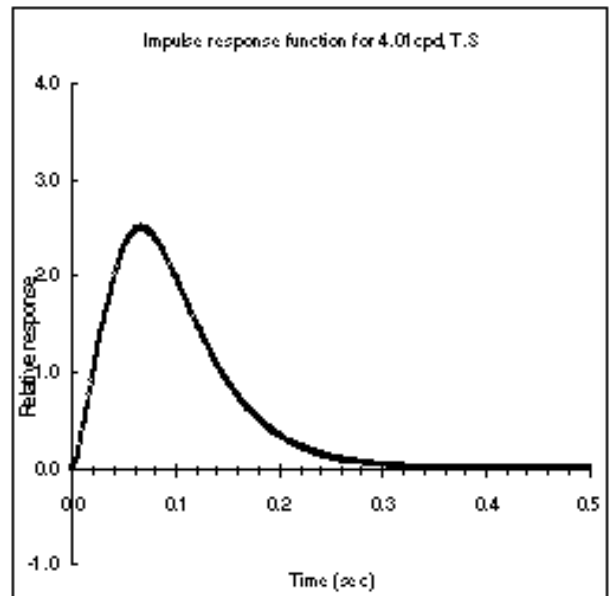


図 3.68 T.S インパルス応答関数 4.01cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.6 空間周波数 4.90cpd

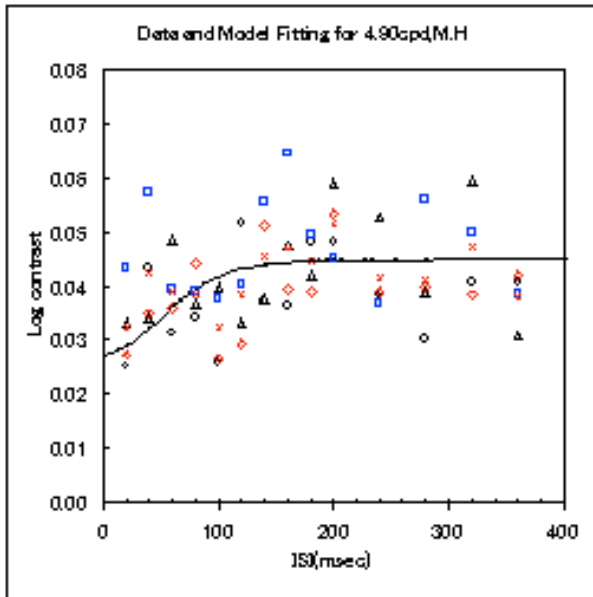


図 3.69 M.H 実験結果 4.90cpd

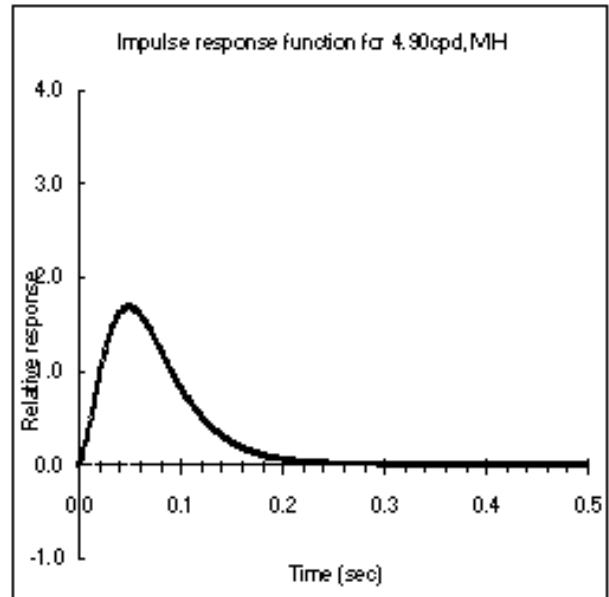


図 3.70 M.H インパルス応答関数 4.90cpd

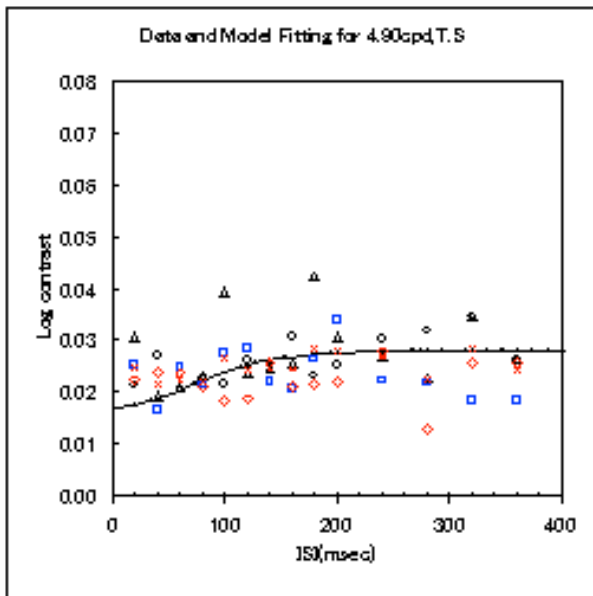


図 3.71 T.S 実験結果 4.90cpd

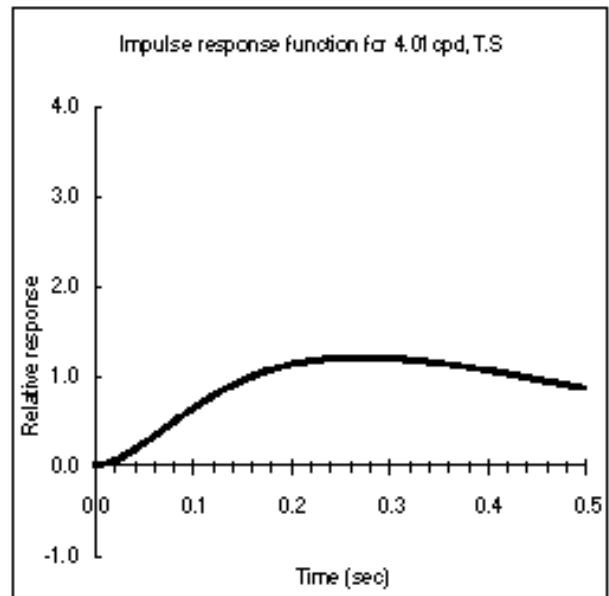


図 3.72 T.S インパルス応答関数 4.90cpd

3.5 赤刺激に対して

3.5.7 空間周波数 5.79cpd

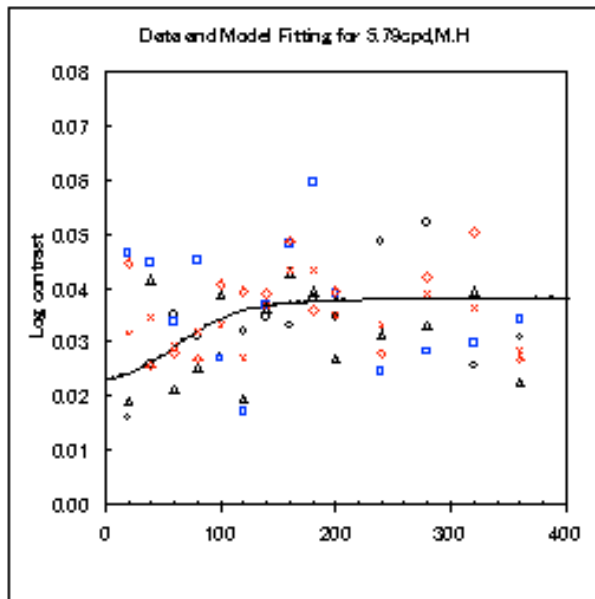


図 3.73 M.H 実験結果 5.79cpd

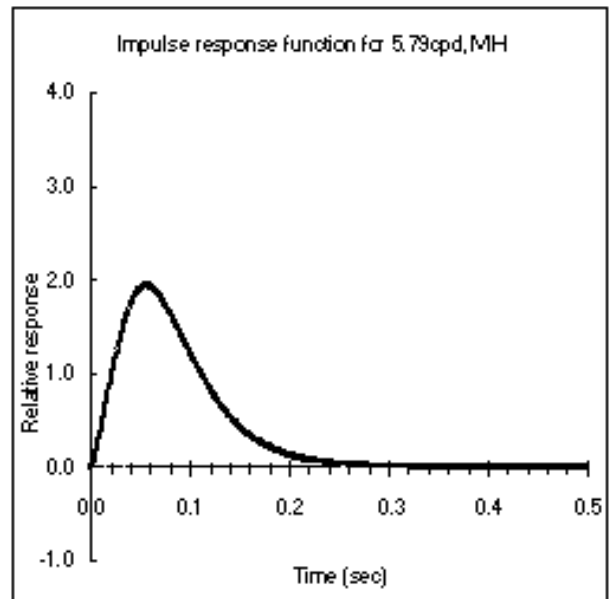


図 3.74 M.H インパルス応答関 5.79cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6 緑刺激に対して

3.6.1 空間周波数 0.43cpd

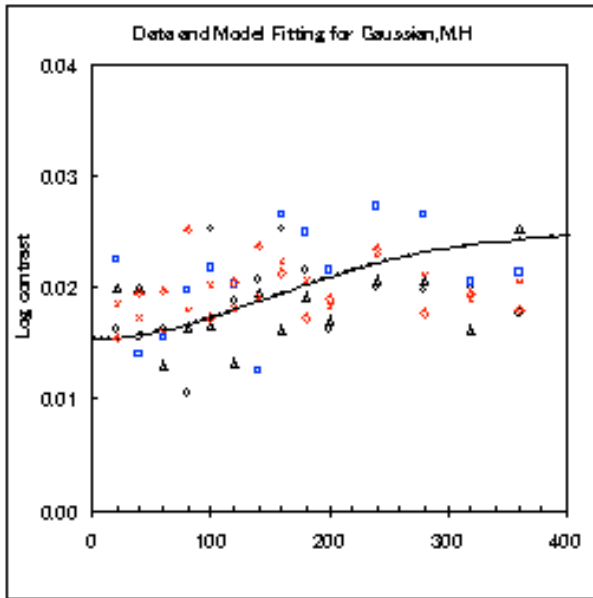


図 3.75 M.H 実験結果 0.43cpd

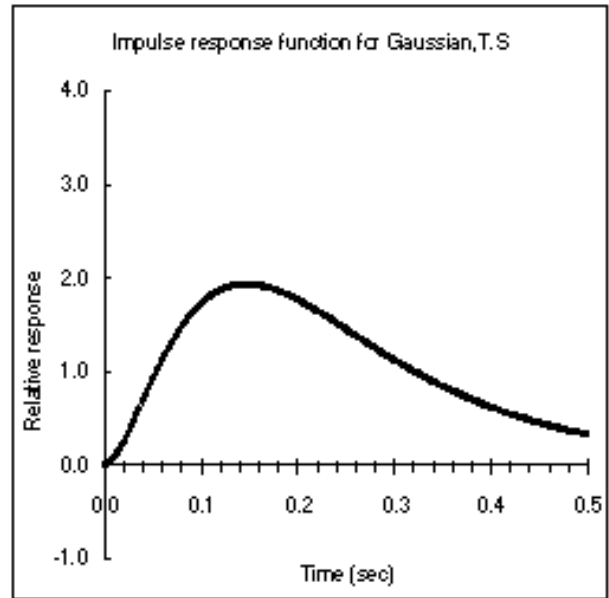


図 3.76 M.H インパルス応答関数 0.43cpd

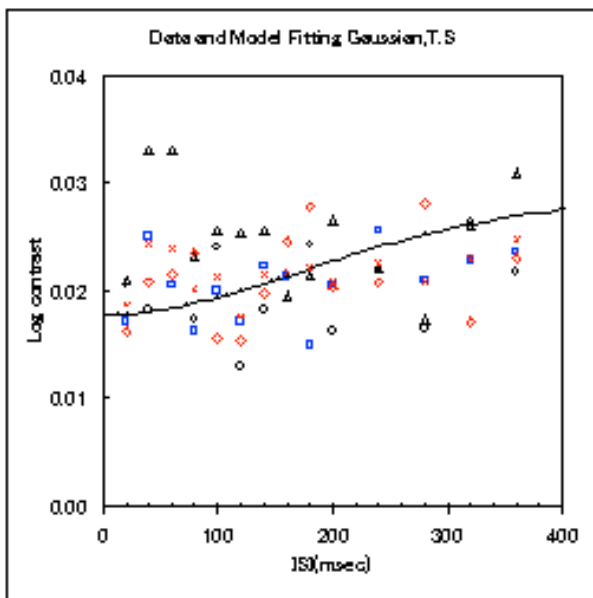


図 3.77 T.S 実験結果 0.43cpd

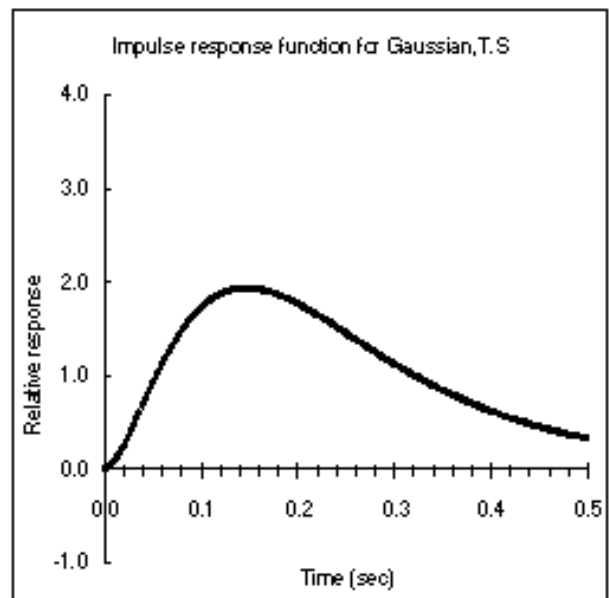


図 3.78 T.S インパルス応答関数 0.43cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.2 空間周波数 1.34cpd

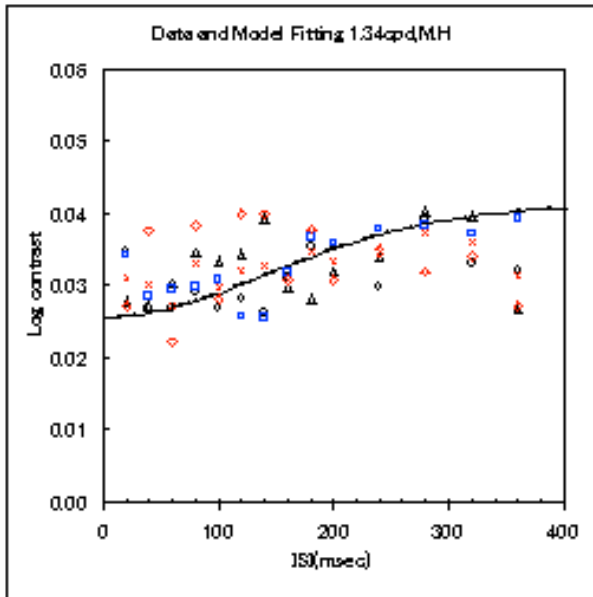


図 3.79 M.H 実験結果 1.34cpd

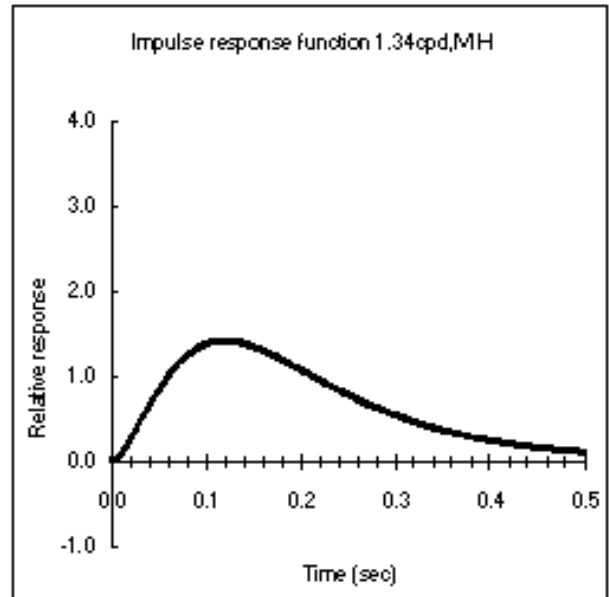


図 3.80 M.H インパルス応答関数 1.34cpd

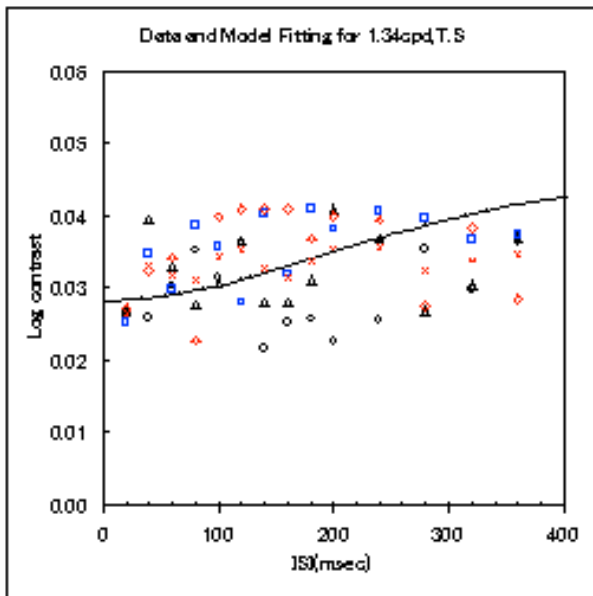


図 3.81 T.S 実験結果 1.34cpd

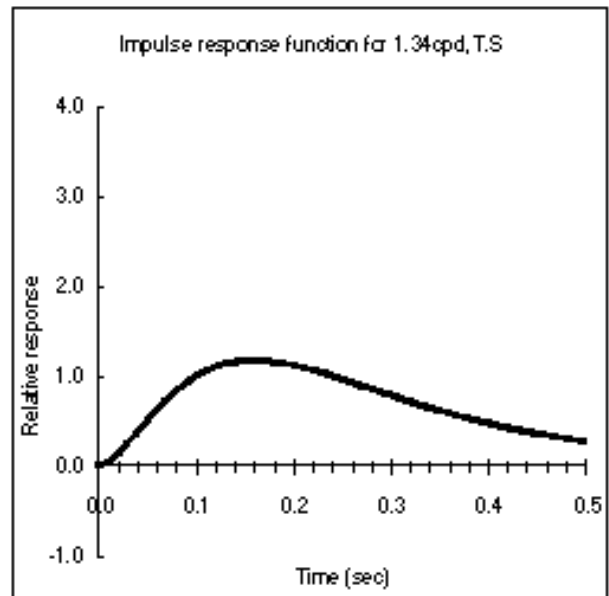


図 3.82 T.S インパルス応答関数 1.34cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.3 空間周波数 2.23cpd

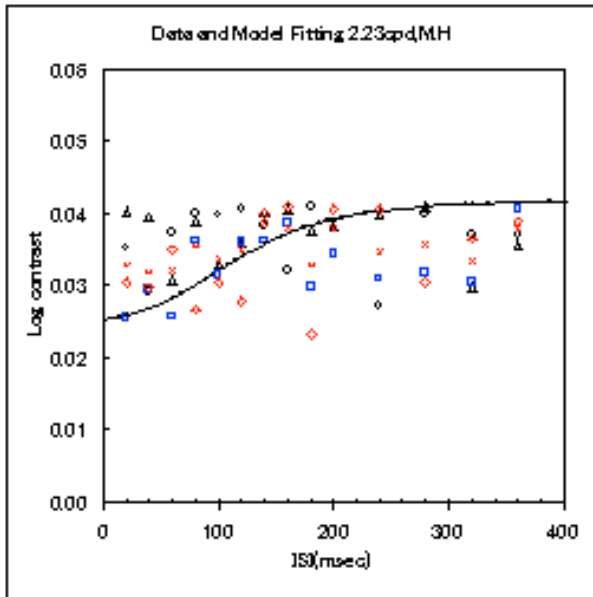


図 3.83 M.H 実験結果 2.23cpd

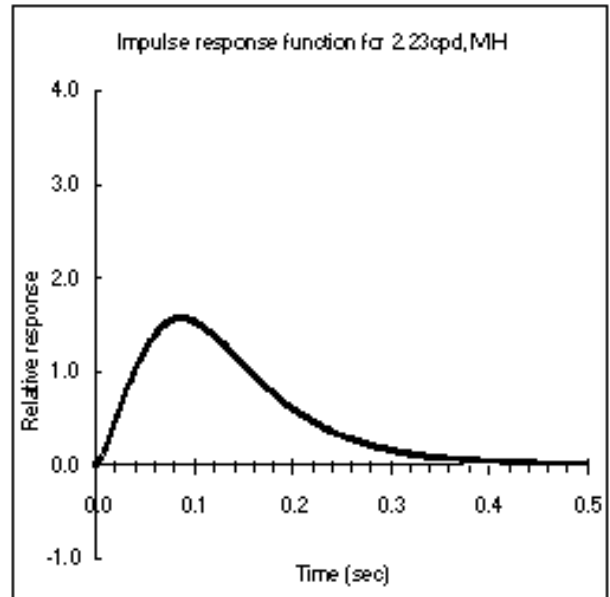


図 3.84 M.H インパルス応答関数 2.23cpd

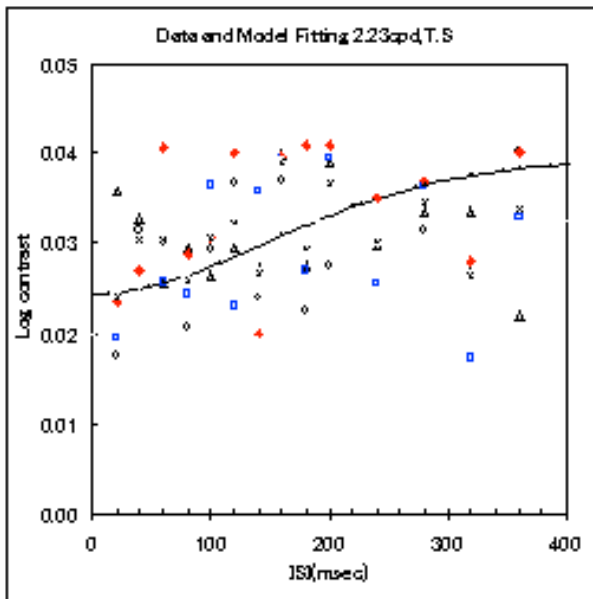


図 3.85 T.S 実験結果 2.23cpd

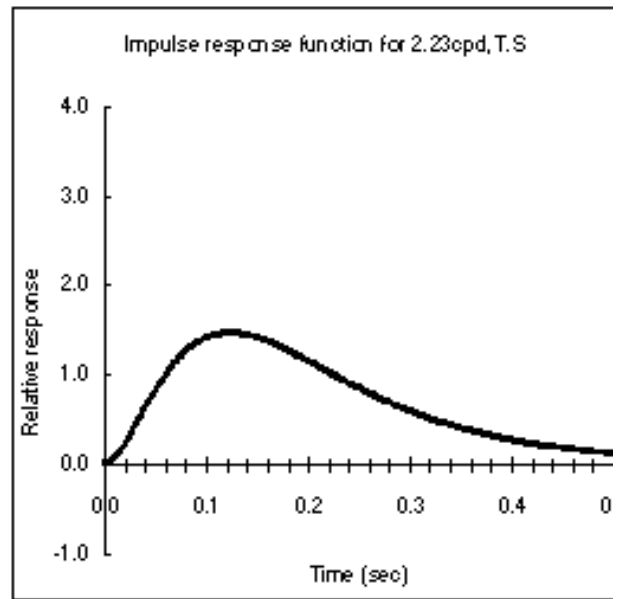


図 3.86 T.S インパルス応答関数 2.23cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.4 空間周波数 3.12cpd

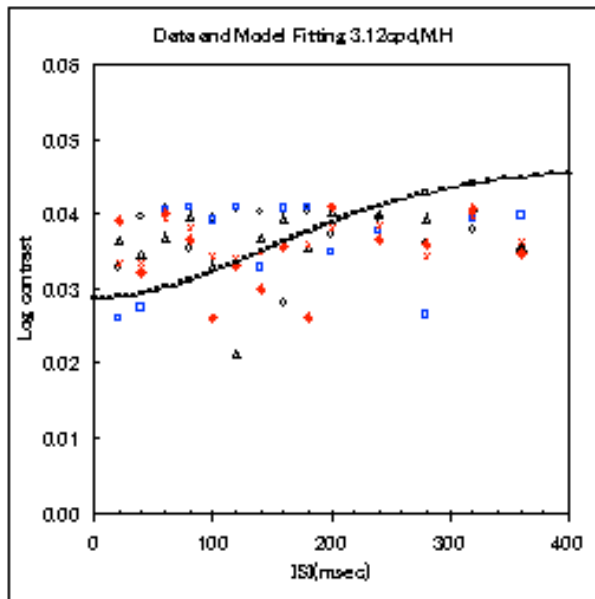


図 3.87 M.H 実験結果 3.12cpd

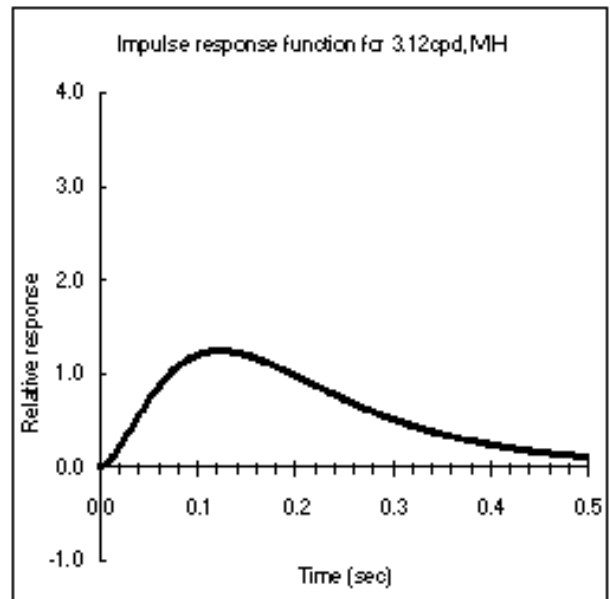


図 3.88 M.H インパルス応答関数 3.12cpd

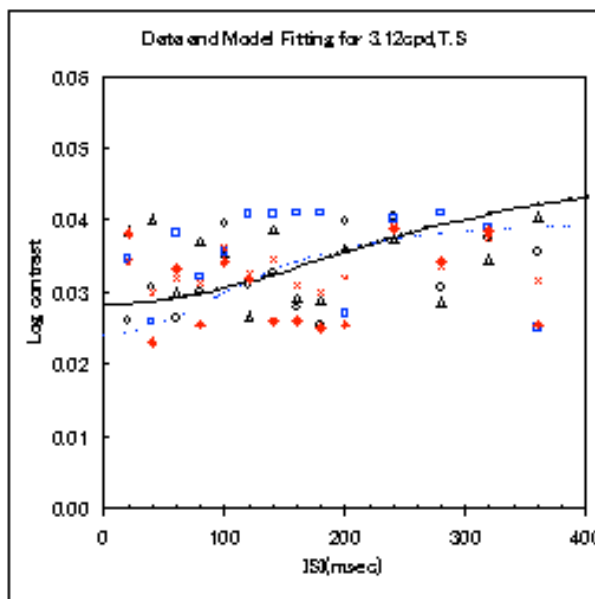


図 3.89 T.S 実験結果 3.12cpd

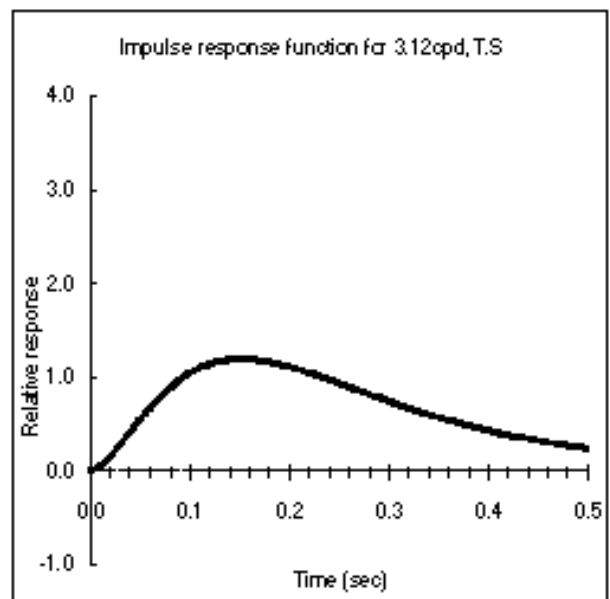


図 3.90 T.S インパルス応答関数 3.12cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.5 空間周波数 4.01cpd

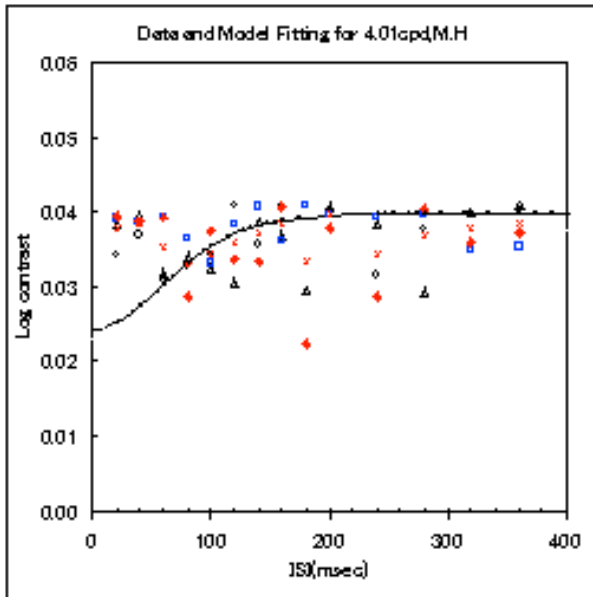


図 3.91 M.H 実験結果 4.01cpd

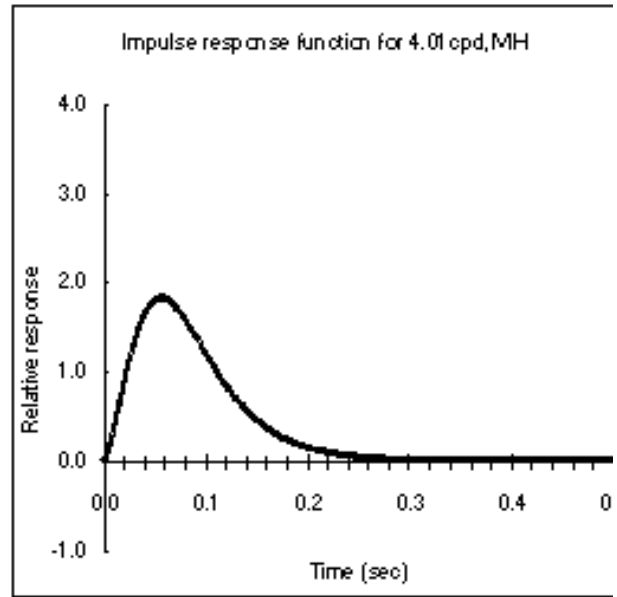


図 3.92 M.H インパルス応答関数 4.01cpd

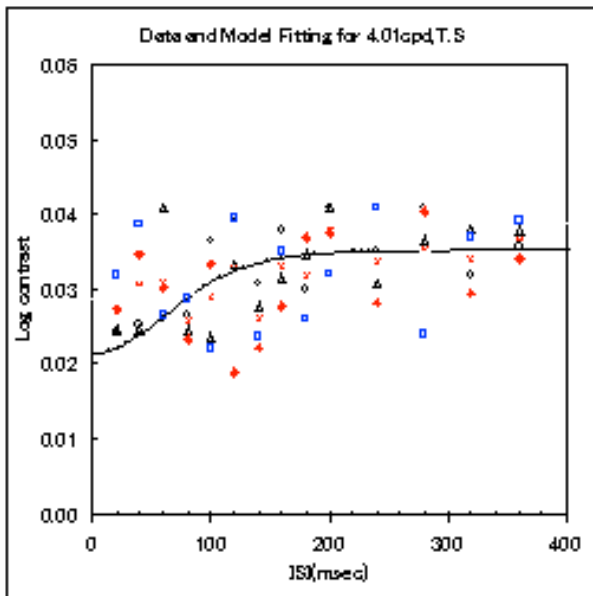


図 3.93 T.S 実験結果 4.01cpd

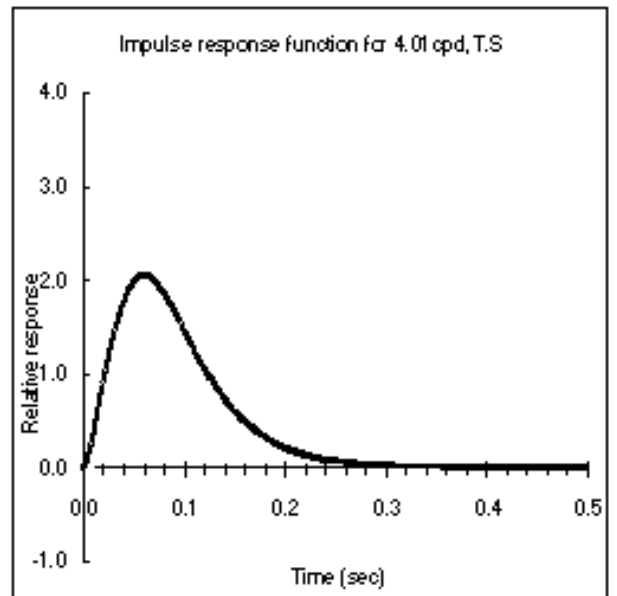


図 3.94 T.S インパルス応答関数 4.01cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.6 空間周波数 4.90cpd

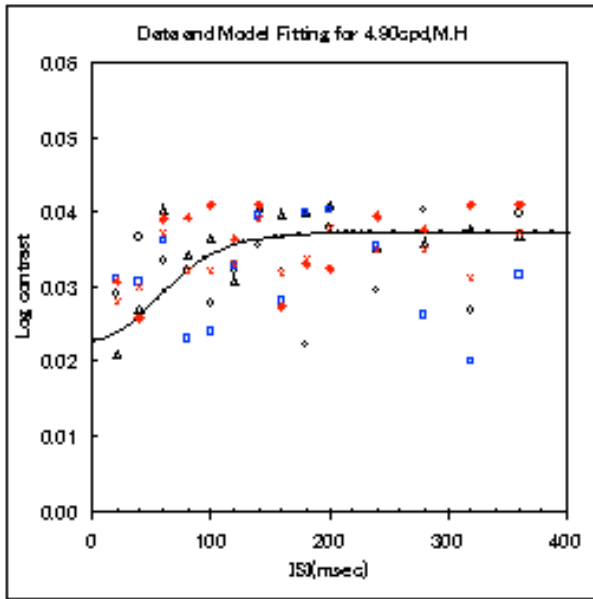


図 3.95 M.H 実験結果 4.90cpd

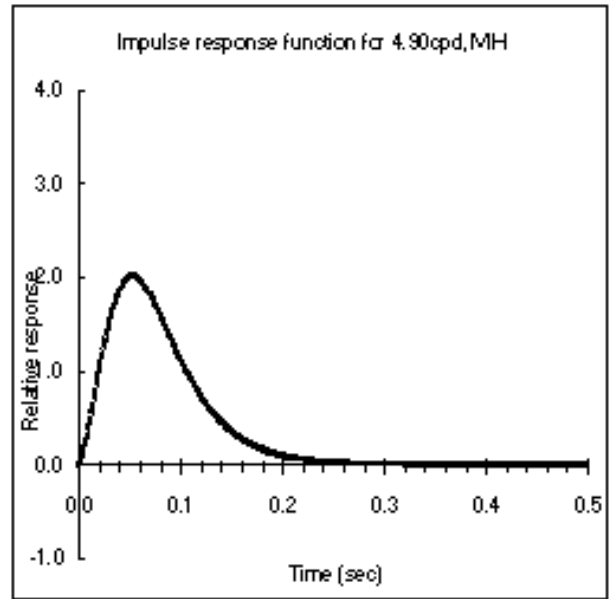


図 3.96 M.H インパルス応答関数 4.90cpd

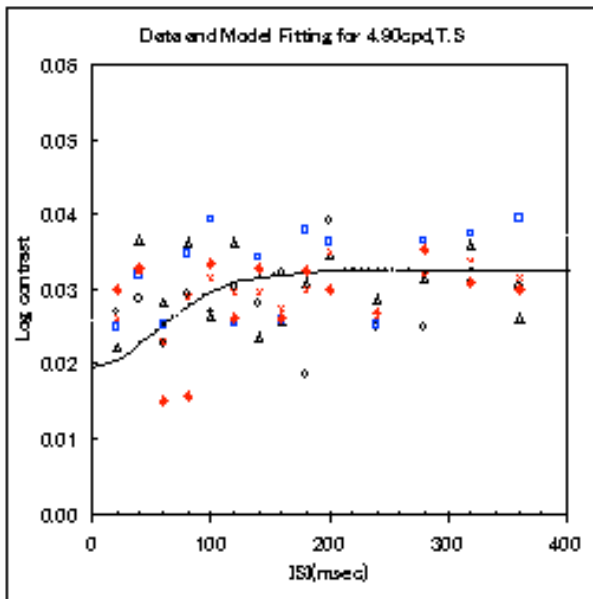


図 3.97 T.S 実験結果 4.90cpd

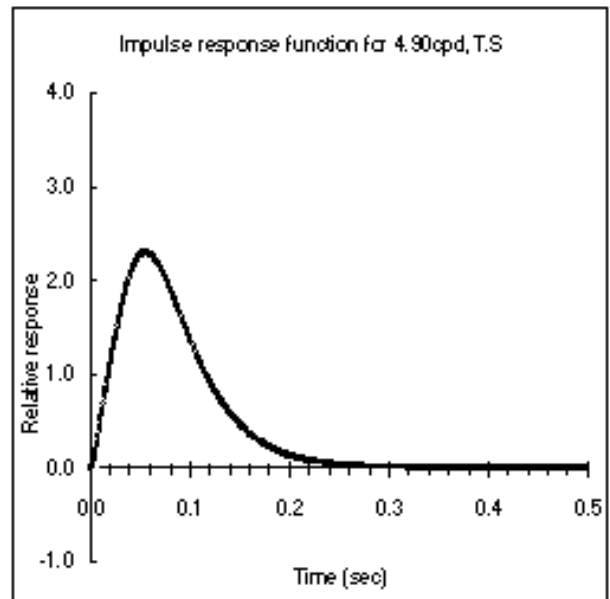


図 3.98 T.S インパルス応答関数 4.90cpd

3.6 緑刺激に対して

3.6.7 空間周波数 5.79cpd

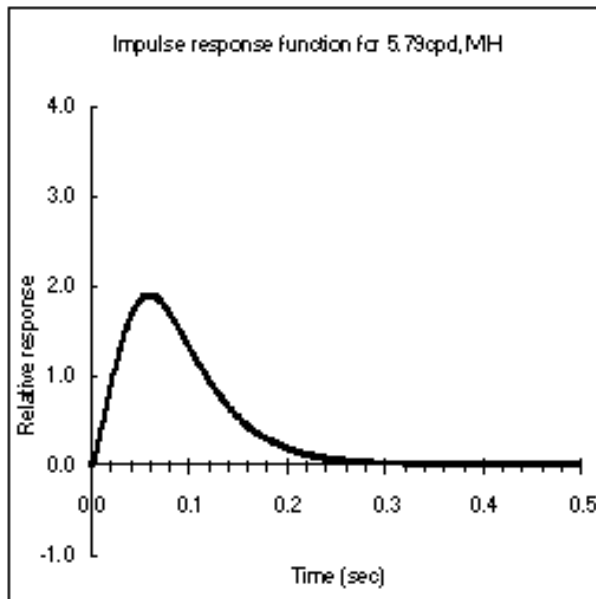


図 3.99 M.H 実験結果 5.79cpd

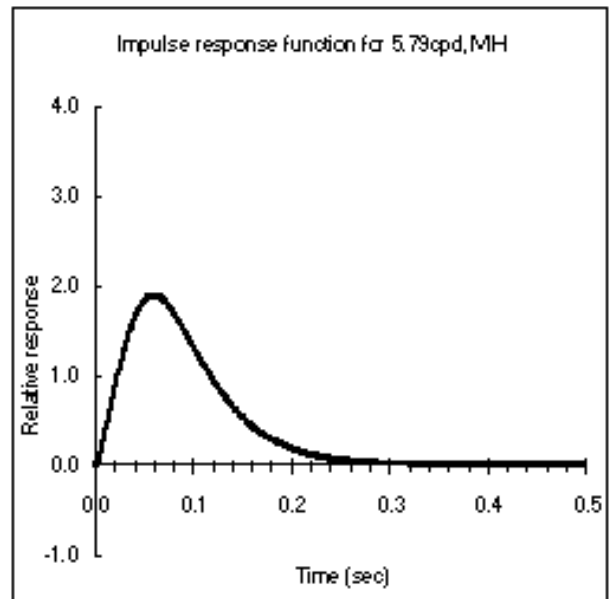


図 3.100 M.H インパルス応答関数 5.79cpd

3.7 仮定した a_0, a_1, a_2, a_3

3.7 仮定した a_0, a_1, a_2, a_3

実験データから、インパルス応答関数を仮定するのに、*Burr and Marrone* のモデル式を用いた。ここで、この時仮定したモデル式の係数 a_0, a_1, a_2, a_3 を次の表で示す。また、同時に *Error* 値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色インパルス応答関数と仮定した。

3.7.1 被験者 M.H の a_0, a_1, a_2, a_3 値とエラー値

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	<i>Error</i>	空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	<i>Error</i>
Gaussian(0.43)	42.569977	9.1736636	20.951369	-0.001426	0.0457366	Gaussian(0.43)	440.7871	6.358696	50.018333	0.401757	26.98028
1.34	150.0029	0.767815	18.39589	-1.42E-06	0.469319	1.34	39.84298	3.343197	18.88057	-9.85E-06	0.183629
2.23	20.00465	8.716168	21.15566	1.124E-08	0.246963	2.23	28.47034	12.04971	27.21465	-3.31E-07	0.299885
3.12	35.20463	3.941175	17.07950	-2.397614	0.125723	3.12	39.97386	2.754930	18.35221	-1.14E-05	0.354018
4.01	50.00002	15.219362	40.078639	-1.68E-06	0.2166219	4.01	51.45942	17.26485	40.0659	-1.61E-09	0.38723
4.90	53.832031	20.822562	46.59843	-5E-06	0.3619814	4.90	56.36539	24.125738	43.047645	2.1013E	0.213006
5.79	51.960391	20.273124	41.824587	-3.44E-05	0.3914337	5.79	49.6302	17.49218	38.8509	-1.4663E	0.12642

図 3.101 赤刺激の場合

図 3.102 緑刺激の場合

3.7 仮定した a_0, a_1, a_2, a_3

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	4.3393858	4.9540555	19.686029	-0.001997	2.6676301
1.34	26.888649	-0.100915	13.102894	-1.20066	16.394006
2.23	-0.129719	-0.129719	11.650074	-6.633461	17.015078
3.12	5.9129868	0.707355	17.990113	4.743E-06	27.633692
4.01	11.517097	1.3190108	28.047034	0.0199932	12.335145
4.90	13.063118	1.9143014	34.592264	0.0123096	18.902951
5.79	17.654625	0.2679342	-2.74E-06	17.191376	35.787086

図 3.103 黄刺激の場合

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	7.63951072	7.4115566	26.4681908	-0.01077783	4.16534836
1.34	4.81144475	0.80303905	17.4191183	-0.0035809	27.9935425
2.23	6.59915605	1.0380919	20.2008431	-0.467057	16.94405
3.12	3.9456242	0.6358493	15.041160	-0.011715	29.268142
4.01	5.8325185	0.4134932	14.883447	-1.4081E	16.05822
4.90	3.4050448	0.6411144	13.416428	-0.186115	20.13416
5.79	25.58095	1.640103	1.3704E	39.484332	23.56957

図 3.104 青刺激の場合

3.7.2 被験者 T.S の a_0, a_1, a_2, a_3 値とエラー値

4色での 5.79cpd と、青刺激、黄刺激における 3.12cpd のそれぞれの空間周波数での実験はまだ行われていない。従って、空欄にしている。

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	60.31544	8.565932	24.200644	3.628E	0.094863
1.34	39.01531	2.887053	15.94355	-2.67E-07	0.145038
2.23	59.97963	2.364848	17.37908	-2E-07	0.126465
3.12	51.73890	18.49467	35.698887	0.0004713	0.31024
4.01	52.85157	19.71492	36.35790	-5.72-E05	0.181363
4.90	49.34321	21.61235	35.97148	-0.00028	0.134882
5.79					

図 3.105 赤刺激の場合

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	39.052396	3.2833278	15.885762	3.8811E	0.1221370
1.34	39.773236	1.6132319	14.640934	-1.052E	0.200514
2.23	40.54650	3.287856	18.486254	0.000529	0.344383
3.12	39.789918	1.7837664	15.240816	3.748E-08	0.2775677
4.01	51.911753	18.03886	38.564925	-2.1739E	0.180893
4.90	56.36539	24.125738	43.047645	2.1013E	0.213006
5.79					

図 3.106 緑刺激の場合

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	44.353673	0.371364	8.441796	7.2181686	3.5602707
1.34	18.171835	8.957487	31.944083	28.52175	19.382248
2.23	48.37477	3.9078402	0	49.427124	9.4346583
3.12					
4.01	13.015221	5.1948904	13.076851	20.152587	12.335145
4.90	16.82452	4.6767914	5.4341418	26.013662	6.3158868
5.79					

図 3.107 黄刺激の場合

空間周波数	a_0	a_1	a_2	a_3	Error
Gaussian(0.43)	10.24594	9.16475	27.61417	0.011146	5.238969
1.34	6.08932	12.13056	10.1442	16.62026	4.27897
2.23	1.607999	1.03986	8.656021	-1.74846	14.66744
3.12					
4.01	1.618729	1.668214	12.13729	-0.36893	7.481579
4.90	13.27527	22.59913	14.44335	20.7019	13.32459
5.79					

図 3.108 青刺激の場合

第4章

考察

実験によって、色刺激に対する空間周波数の影響をそれぞれの空間周波数ごとに考察する。その方法は、実験より求めた色インパルス応答関数のピーク時間に注目し、その時のピーク時間を縦軸、その時の空間周波数を横軸にとって、時間特性を比較する。

4.1 色刺激に対する時間特性

実験より仮定した色インパルス応答関数の時間特性を求める。ある空間周波数を持つ色刺激に対する実験から、インパルス応答関数の時間特性を求める。

- 興奮相がピークに達するまでの時間

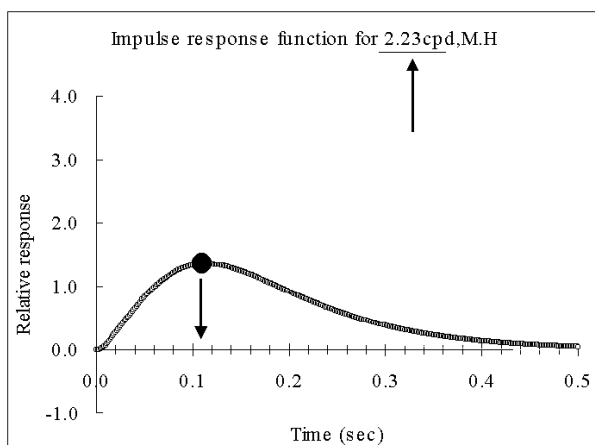


図 4.1 印のピーク点に注目し、この時の時間を縦軸に、またこの時の空間周波数を横軸にとる

4.2 被験者 T.S のインパルス応答関数が一相性でなかった理由

4.2 被験者 T.S のインパルス応答関数が一相性でなかった理由

色刺激に対するインパルス応答関数の波形は、過去の研究でも求められている一相性の波形をしている。実験データでも示されているように、被験者 M.H に関してはどの空間周波数に対しても一相性のインパルス応答関数を示した。被験者 T.S に関して、緑と赤刺激に対しては、この被験者と同じ一相性のインパルス応答関数であったが、青と黄刺激に対しては一相性のインパルス応答関数が得られなかった。この原因としては、観察されたコントラスト感度関数は単一の色チャンネルの時間応答特性を反映しているものではなく、複数の色チャンネルの時間応答特性が現れているのではないのかという事が考えられる。つまり、刺激の見えが単純な一色ではなく、例えば青呈示に対し赤が混色し、結果赤の時間応答特性が検出されている可能性が考えられる。

4.2.1 被験者の時間特性

今回、被験者のインパルス応答関数の時間特性を求めるに当たって、被験者 T.S に関しては、2相性のインパルス応答関数の出ていない赤と緑を対象とした。また、被験者 M.H に関しては、刺激で用いた赤、緑、黄、青のすべてにおいて、その時間特性を求めた。以下の図 4.2 に被験者 M.H、また図 4.3 に被験者 T.S の時間特性を示す。

4.2.2 空間周波数による時間特性の変化

被験者 2 人に共通して、3cpd と 4cpd を境に大きく時間特性が大きく変化しているのがわかる。低空間周波数側 (0.43cpd から、3.12cpd) と高空間周波数 (4.01cpd から 5.79cpd) を比較すると、高空間周波数側で感度のピークが速い。

4.2 被験者 T.S のインパルス応答関数が一相性でなかった理由

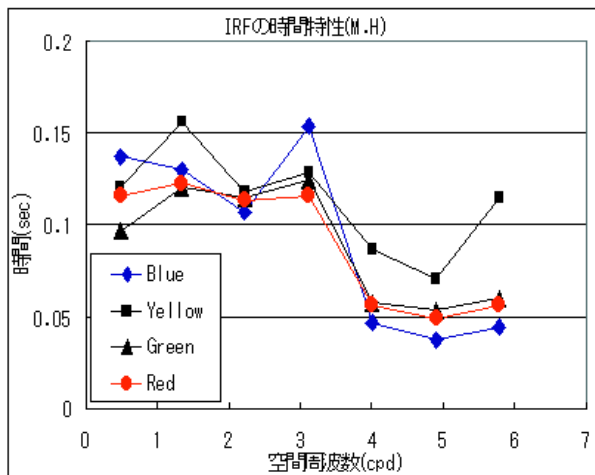


図 4.2 インパルス応答関数から求めた時間特性、被験者 M.H

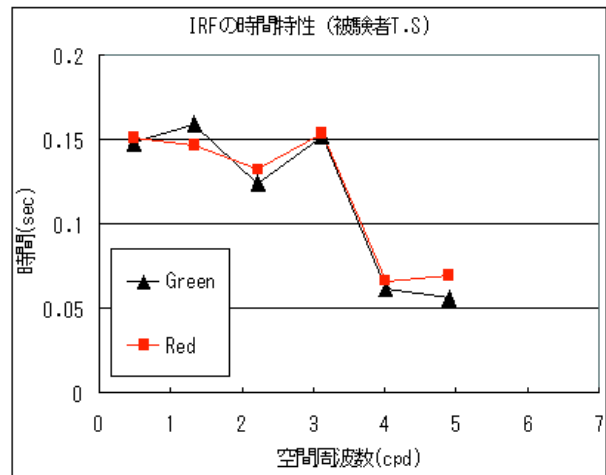


図 4.3 インパルス応答関数から求めた時間特性:被験者 T.S

4.2.3 色刺激による時間特性の変化

色刺激に対する空間周波数の影響は、刺激の色によらないと考えられる。なぜならば、特定の色の時間特性が、特別他の色の時間特性と異なっている点はない。さらに今回用いた空間周波数の範囲では、低空間周波数側 ((0.43cpd) から 3.12cpd) でインパルス応答速度は比較的遅く、これより高空間周波数側では非常に早いインパルス応答速度となっている。

4.2.4 空間周波数チャンネルについて

空間周波数と色に対するインパルス応答関数の時間特性の変化から、空間周波数チャンネルの存在を検証する。3cpd と 4cpd を境にして、大きく時間特性が変化している。また、この領域を境に低空間周波数側と高空間周波数側ではそれぞれインパルス応答の速度は互いに安定した領域となっている。さらにこれは、色にかかわりないこともわかった。

これらの事より、今回用いた空間周波数の範囲では、3cpd と 4cpd を境にして少なくとも 2 つの空間周波数チャンネルが存在していると考えられる。

第 5 章

まとめ

今回行った実験から求められた結果をまとめると次のようになる。

1. 空間周波数を持つ刺激に対する色インパルス応答関数を測定

さまざまな空間周波数を持つ色刺激に対する色インパルス応答関数を測定し、その時間特性を比較した。本研究では、色刺激に対する空間周波数の影響は、刺激の色にかかわらずを持たないという結果を得た。

2. 刺激の空間周波数によって、色インパルス応答関数が増加する 空間周波数と色に対するインパルス応答関数の時間特性の変化から、低空間周波数側 (0.43cpd から 3.12cpd) と高空間周波数側 (4.01cpd から 5.79cpd) で色インパルス応答関数が増加することが明らかとなった。

3. 今回用いた空間周波数の範囲では、少なくとも 2 つの空間周波数チャンネルが存在している

参考文献

- [1] 色覚のメカニズム、内川恵司, 朝倉書店,1998
- [2] 視覚の心理物理学、池田光男, 森北出版,1998
- [3] 視覚情報処理ハンドブック、日本視覚学会, 朝倉書店,2000
- [4] 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, 高知工科大学, 2001

謝辞

実験段階でのご指導および論文作成にあたっては、研究室の平山正治先輩には大変御世話になりました。特に、指導教官である篠森敬三助教授には、日頃から叱咤激励して頂き、深謝しております。また、同研究室の先輩方や2期生メンバーには研究室配属時から大変御世話になり、感謝しております。