

〔非公開〕

TR-C-0009

立体画像信号の伝送に関する一検討

立平 靖 秋山 健二 小林 幸雄

YASUSHI TATEHIRA KENJI AKIYAMA YUKIO KOBAYASHI

1988. 1. 28

A T R 通信システム研究所

目次

はじめに

1. 立体画像の種類と研究対象	2
2. 検討課題とその位置づけ	3
3. 立体視の性質に関する研究の概観	4
4. 2眼式立体画像信号の伝送の基礎検討	4
5. 2眼式立体画像信号の圧縮符号化の考え方	6
6. 参考文献	10
7. 表および図	11

はじめに

通信技術の進歩は、通信に於ける臨場感を増加させていき現在ではテレビジョン画像を通じて会議を行うことさえ可能になっている。そして将来は、相手のいる場所のすべての感覚が伝送され受信できるという極めて臨場感の高い通信システムも考えられる。問題を視覚に限定すれば、現在2次元で与えられている画像を立体化することは視覚系に与える臨場感を飛躍的に向上させるであろう。

立体画像通信を行うためには人間の立体視知覚特性に整合した立体画像システムの設計を行うことが画質の面と伝送効率の面から重要である。本報告書では、人間の視覚特性に整合する立体画像の伝送システムを確立するための基礎データの検討についてのべる。本報告書の内容は次の通りである。

第1章で、一般に立体画像とよばれるものについて分類し研究対象を明らかにする。第2章で人間の立体視特性と整合のとれた立体画像の特性を検討するための課題について述べる。第3章で人間の立体視の性質に関する基礎研究を概観し、検討を行う上で必要な立体視の性質のデータとは何かを明らかにする。第4章で検討課題に関する具体的なアプローチ方法を述べる。最後に第5章で立体画像信号の情報圧縮を行う場合に考えられる方法について構想を述べる。

1 立体画像の種類と研究対象

図1. 1に、一般に立体画像と言われるものを分類して示す¹⁾³⁾。ここでは、2次元立体画像と立体空間画像を区別して取り扱う。2次元立体画像とは、3次元立体の形状を何らかの形で2次元画像としたものである。立体空間画像とは、表示された画像が人間の生理的な機能に働きかけ立体感を生起させることにより3次元空間を再現するものであり、大きく分けると、通常の2次元画像を基にしたものと、3次元像を直接再生するものがある。3次元像を直接再生するものは、コヒーレント光を用いるホログラムが主であるが、動画像の技術が圧倒的に欠如している。そのほかにバリフォーカルミラー方式の様な切断面再生という方式がある。

通常の2次元画像を基にした立体画像は両眼視差を利用したものが主である。両眼視差を利用した方式は歴史が古く、テレビジョン系を用いた動画表示技術もほぼ実用レベルに達している。またメガネを用いない立体画像として、近年注目を集めているレンチキュラー方式も基本的には両眼視差を利用している¹⁾。従って立体画像通信の基礎検討の第一段階として、両眼視差を有する2つの画像による立体画像（以下2眼式立体画像と呼ぶ）をとりあげることにする。

2 検討課題とその位置づけ

立体画像通信を目標として、2眼式立体画像の伝送方法の指針となる基礎データを得るために考慮されるべき事項は次の2点である。

(1) 左目に提示される画像と右目に提示される画像の統計的な相関関係

(2) 両眼視差を利用した立体視の性質

(1)については立体画像処理の研究として現在本研究室で取り扱われている。(2)については両眼視差による立体視の性質にもとづく2眼式立体画像の伝送方法の指針として次の点を明らかにする必要がある。

(1) 2眼式立体画像の総合的な画質は両眼に呈示される画像の画質とどのような関係に有るのか。(例えば、両眼に呈示される画像の解像度と奥行き方向の解像度とどのような関係にあるのか。)

(2) 立体視の性質から考察したときに2眼式立体テレビジョンに要求される性能はどの程度か。

(3) 2眼式立体画像信号の情報圧縮はどの程度可能か。

また、(1)、(2)の考察を通じて2眼式立体画像におけるテストチャートを作成し

(3)の情報圧縮の評価に反映するという検討法は有効であると思われる。図2.1にこれらの検討課題の位置づけを示す。

3 立体視の性質に関する研究の概観

本章では、2眼式立体画像に関する研究のうちで基礎となる立体視の性質に関する研究の概観を示す。

図3.1^{3,4}に立体視の要因を分類した。立体視の要因は様々であるが、近距離である場合両眼視差が支配的である。両眼視差に対する検討の際に測定される値としては大きく分けて弁別閾と融合閾が有る。弁別閾は、どの程度の細かい視差が識別出来るのかということでありテレビジョン系としてどの程度の情報量が必要かという問題に還元される。融合閾は視差等の左右画像の差異がどの程度許容されるかということ、どこまでの情報を削っても立体画像として成立するのかという高能率符号化に向けた問題に還元される。以上より2眼式立体画像の基礎検討として両眼視差の弁別閾に関する検討が必要である。

両眼視差弁別閾に関する研究の概観を図3.2⁵⁻¹³に示す。両眼視差に関する研究は大きく2つに分けられる。1つは両眼視差そのものを取り扱った研究で、もう1つは両眼視差弁別閾が両眼に呈示される個々の画像の性質や左右の画像の違いによってどのように変化するかといういわば間接的なパラメータによる測定である。この間接的なパラメータによる定量的な測定例は極めて少ないが、両眼に呈示される画像の品質がどのような立体画像品質をもたらすかを知るうえで非常に重要であり考察を進める必要がある。

4 2眼式立体画像信号の伝送の基礎検討

4.1 2眼式立体テレビジョンの性能に関する考察

2眼式立体テレビジョンによる立体感(臨場感)はどの程度のものなのかをまず把握する必要がある。そしてその立体感のよしあしは、符号化にまつわる要素(左右個々の画面のビット精度、解像度)によりどのように変化する可能性があるかを検討する。検討項目を以下にあげる。

(1) 2眼式立体画像の従来例に関する調査

(2) 両眼視差の性質の検討に用いられたテストチャートの調査

(3) 両眼視差の空間周波数特性等心理物理学分野の成果の調査

(4) 両眼視差の空間周波数特性に関する検討

- a) テレビジョン系で表現できる両眼視差の空間周波数に関する検討
- b) aの結果と心理学分野の実験成果との関係の検討

(5) 左右各画像の画質が、2眼式立体画像の総合画質に及ぼす影響の検討

4. 2 2眼式立体画像のテストチャートの作成

4. 1での検討結果を踏まえ、2眼式立体画像における画品質を直観的に把握できる立体テレビ用のテストチャートを作成する。例えばこれを符号化伝送系に入力することにより符号化による劣化を直観的に把握できる。現在までに両眼視差の心理物理的特性の測定のために用いられてきたテストチャートの例を図4. 1 (a), (b)に示す。また図4. 1 (c)は、画像の平面的な解像度と、奥行きに関する解像度を同時に把握するテストチャートのアイデアである。

4. 3 立体化情報の情報削減の検討

2眼式立体画像が立体的に観察出来るのは、2枚の画像が用いられているためであり、その意味で一方の画像にたいし他方の画像には立体化のための情報が内包されているといふことができる。このように、2眼式立体画像の伝送においては、立体化情報が本来の画像に付加されて伝送される。従って2眼式立体画像における伝送の効率化でまず検討する必要があるのはこの立体化情報をいかにコンパクトにするかということである。検討項目を以下に挙げる。

(1) 左右眼に提示される画像の差分として必要な情報量の検討 (ビット精度、空間解像度、時間解像度)

(2) 視差情報として必要な情報量の検討 (ビット精度、空間解像度、時間解像度)

図4. 2に検討の線表を示す。

4. 4 2眼式立体画像の情報量に関する予備検討

ここでは2眼式立体画像の情報量を検討するための要因として奥行き方向解像度を取りあげ2眼式立体画像の情報量に関して検討の必要のあることを述べる。

2眼式立体画像システムの奥行き方向空間周波数特性は図4. 3に示すように左右の画像に縦方向の正弦波状の視差をつけることによって測定できる。この画像を2つのTV画像で表現する場合、視差の最大空間周波数は走査線数で限定され、最小振幅は水平解像度で限定される。図4. 4に実線で、走査線525本(サンプリング周波数13.5MHz)の現行TVと、走査線1125本(サンプリング周波数64.8MHz)のHDTVにより表現できる視差の領域を

示した。ここでは後にのべる立体視知覚特性との比較のため視距離を3.8mとした。

一方両眼視差弁別閾(立体視することができる最小の視差)の空間周波数特性は図4.3に示した奥行き方向正弦波を用いて測定されており、一般に1cpd付近をピークとするバンドパス型でピーク時の弁別閾は10~20secである^{7,9,10}。図4.4にその一例を破線でしめす。図4.4よりTVで表現できないが、視覚系では解像可能な領域(現行TVではA, B領域、HDTVの場合C, D領域)があり立体テレビジョンの性能に関して検討の必要があることがわかる。特に立体視知覚特性が要求するTVの水平解像度は極めて高い。またテレビジョンで表現できるが視覚系で解像できない領域(現行TVの場合C領域、HDTVの場合, C, D領域)もあり情報圧縮の可能性を示唆している。

なお両眼視差を時間的に変化させたとき6Hz以上の変化に対しては立体視できないという報告¹³があり時間方向の解像度については現行方式で充分でむしろ情報圧縮の可能性が考えられる。

5. 2眼式立体画像信号の圧縮符号化の考え方

本章では、2眼式立体画像信号の情報圧縮を行う場合に考えられる方法について構想を述べる。従来までの画像符号化の流れを外観した結果、現在多数存在する画像符号化のいずれも基本的な手法の応用とその順列組合せであると考えることができる。従って2眼式立体画像に対する符号化の研究方法として、従来の画像符号化方法の基本的な手法の適用を検討しその過程で2眼式立体画像の特徴の利用を図るという方法は有効である。ここでいう2眼式立体画像の特徴とは、両眼視差の性質および左右画像の相関である。また従来の画像符号化との相違点は、従来までの画像符号化方法は静止画であればただ一枚の画像の品質を問題にすればよかったのであるが2眼式立体画像の符号化のばあいには二枚の画像を観察して立体視出来なければならないという条件があるという点である。

5.1 画像符号化における基本的な手法¹⁵

ここで画像符号化における基本的な手法について簡単に触れておく。図5.1に示した6つの手法は矢印に沿って進むに従って符号化のために参照する情報量が増大する。参考のために各符号化法の応用技術と各符号化が利用している技術を併せて示す。以下に各符号化法に関し簡単に説明を加える。

(1) サブサンプリング

この方法は現信号の全標本点を伝送せず間引きをして伝送し、デコーダーがわで間引か

れた点を内挿する方式である。信号レベルに対する処理を行わないのでアナログ伝送路にも適用できるが、この方法のみでは画像信号の冗長度を利用しないので圧縮率は低く後に述べる他の方法と併用される。

(2) フレーム内符号化処理

フレーム内符号化処理は、1フレーム内の情報のみを利用して符号化を行う方法で大きく3つに分類される。第1の方法はとなりあう画素データとの差分を伝送する予測符号化方式である。第2の方法は直交変換である。この符号化方法では、適当な数の画素のブロックをつくりこのブロックの画素データに直交変換をほどこし、変換の結果電力が集中した部分に多くのビットを割り当てる。この結果としてビット数の削減が可能になる。第3の方法は、ベクトル量子化である。ベクトル量子化は近年情報理論的に最も高い圧縮率を実現できる方法として注目されている方式である。この符号化法では、複数画素の信号をまとめてベクトルとしてあつかい、このベクトルに対し最適量子化を行う方法である。

(3) フレーム間符号化処理

フレーム間符号化は、時間的にとなりあうフレーム間の差分を伝送する予測符号化法と差分がある一定値以上である場合に画素データを更新する動領域画素書き換え法が基本である。どちらの方法も動きの激しい部分で急速に情報量が増大する。

(4) 適応処理

(2)で述べたフレーム内処理と(3)で述べたフレーム間処理を画像の性格により適応的に切り換え最適な符号化を試みる方法。

(5) 動き補償方式

前述の単純なフレーム間処理の弱点を克服するため、動画像内の物体の動きを追跡しある背景の前を形のかわらない物体が移動する様な場合には物体の動きの追跡結果のみを伝送することにより大幅に情報量を削減する方式である。

(6) 知的符号化¹⁷

画像の中に含まれる特徴情報を積極的に利用し最終的に画像に含まれる意図だけを伝送しようという試みをかりに知的符号化とよぶ。まだ研究例はすくない。

5. 2 2眼式立体画像に対して従来の符号化方法を適用する際の考え方

2眼式立体画像に対する現在までの符号化方法の適合性を考える方法は大きくわけて2つある。第一の方法は、2眼式立体画像を2枚のフレームと見ず1対で一つのフレームと

みる（カラー画像をRGB一組で1フレームとみるように）方法である。この方法をここでは左右結合処理と名付ける¹⁶。

第二の方法は左右を別個のフレームとして扱い、このフレーム間処理の手法として現在考えられている符号化手法を適用するという方法である。

表5. 1に現在までに行われている符号化方法の2眼式立体画像への適用方法を前述の2つの概念をもとに考えてまとめた。より実際的な符号化方法としてはこの表であげた要素を数種類組み合わせることで適応的に処理し高効率符号化を行うことが考えられる。次節で表5. 1であげた各ケースについて説明を加える。

5. 3 従来行われてきた符号化方法の2眼式立体画像への適用

(1) サブサンプル

両眼立体視は視覚系の高次のレベルにおいて、左眼と右眼の画像が融合することにより生じると考えられ両者の画質の差異は、あるレベルまでは許容されるという。従って左右どちらかの情報量をサブサンプルにより削減できる可能性がある。

また、両眼立体視の心理物理的知見によれば時間的に変化する両眼視差に対する感度は6 Hz以上でかなり落ちるといふ¹³。この性質を利用して両眼視差の時間変化の情報を削減できる可能性がある。

(2) フレーム内符号化処理

左右結合符号処理の立場からフレーム内符号化を2眼式立体画像に適用すると2眼式立体画像特有の符号化のアイデアとなる。すなわちフレーム内符号化の基本的なアイデアは、となりあう画素間で相関が高いということを利用して情報量を削減するというものであるがこのアイデアを左右のフレーム間の対応する画素間に拡張したことになる。

さらに具体的に直交変換を2眼式立体画像にほどこす場合について考えてみる。直交変換を左右画像を結合して行う場合図5. 2に示すような画素ブロックを変換対象として選ぶことが考えられる。このようなブロックを選ぶことにより左右フレーム内の画素間の相関と、左右フレーム間の相関を一括して一回の変換で利用できることになる。

またベクトル量子化について考えると、右画像と左画像の対応する点より成る左右結合ベクトル(L, R)は、左右画像の相関性により図5. 3に示すように $L = R$ の直線近傍にその位置ベクトルが集中することになりこの性質を利用した量子化が可能である。

(3) フレーム間符号化処理

左右のフレームの間で従来のフレーム間処理の手法を適用する場合、左右フレーム間の

差分を伝送する方法（左右予測）と左右画像の差分が大きい部分だけ伝送する（視差に応じた画素書き換え）等が考えられる。

（４） 動き補償

左右フレーム間処理の立場からは、左右フレーム間で平行移動の関係にある画素をみいだし左右画像間で補償しあうという方法が考えられる²。この方法は2眼式立体画像に対する適合性が極めて高い。何故なら2眼式立体画像の左右画像間の間の関係は、オクルージョン（かくれ）がなければ各画素の視差にもとづく平行移動により表現できるからである。また2眼式立体画像を用いて3次元的な動きを追跡することによる動き補償も考えられる。

（５） 知的符号化

通常の画像符号化においても知的符号化のコンセプトは固まっていないので具体的に述べることは難しいが、2眼式立体画像における知的符号化は両眼視差を利用した立体画像によってしか得られない奥行き情報などを積極的に利用すること等が考えられる。

以上様々なアイデアを述べたが変換効率の面から述べると、フレーム間および左右フレーム間そしてフレーム内の相関を最大限に利用するのが変換効率を上げる方法である。

5. 4 立体画像符号化のタイムテーブル

以上の議論をふまえて立体画像符号化のタイムテーブルの案を図5. 4に示す。1990年近辺までは、2眼式立体画像をを対象とした基礎検討を行いそれを基礎として多眼式立体画像に進んでいく。また3次元の動き量の評価、動き補償は動画立体画像の情報量の圧縮の上で重要な技術であると思われる。また通常の画像符号化における知的符号化のコンセプトの確立が行われる時期からは立体画像に於ける知的符号化の検討を始める必要がある。

6. 参考文献

- (1) 磯野他, 3Dプラズマディスプレイの一方式とその視覚特性, TV技報, Vol.12, no.1, 1988
- (2) Bell Lab. Predictive Coding of Multi-Viewpoint Image Sets
- (3) 安居院他, ステレオグラフィックス&ホログラフィー (秋葉出版)
- (4) 視覚の奥行き情報とその奥行き感度, TV学会誌, Vol.31, No.8, 1977
- (5) 両眼立体視の性質を探る, NHK技報, 12, 1982
- (6) 立体視における両眼視差と・・・, TV画像技術応用研究会ITA29-1
- (7) 長田, 正弦波の奥行きパターンによる両眼立体視の空間周波数特性, TV全国大会, 1976
- (8) 大谷, 三橋, 両眼視差と立体感, NHK技報, 7, 1970
- (9) C.W.Tyler, Spatial Limitations of Human Stereoscopic Vision, SPIE, Vol.120, 1977
- (10) C.W.Tyler, Depth Perception in Disparity Gratings, Nature, Vol.251, 1974
- (11) Stereoscopic Acuity and Horizontal Angular Distance From Fixation, JOSA, Vol.59, No.8, 1969
- (12) G.Amigo, Variation of Acuity with Observation Distance, JOSA, Vol.53 No.5, 1963
- (13) W.Richards, Response Function for Sine and Square Wave Modulations of Disparity, JOSA, Vol. 62, No. 7, 1972
- (14) W.Richards, Effect of Luminance and Contrast on Processing Large Disparities, JOSA, Vol.64, No.12, 1974
- (15) 村上他, カラー画像のベクトル量子化手法, TV学会誌, Vol. 39, No. 10, 1985
- (16) 山本, テレビ会議、テレビ電話のための動画像超低レート符号化技術の動向 TV学会誌, Vol. 40, No. 12, 1986
- (17) 原島他, 次世代画像符号化の構想, 電子情報通信学会技報, IE87-1, 1987

表 5. 1 2 眼式立体画像信号への
画像符号化の基本手法の適用

1 サブサンプル	両眼視差の特性を利用するサブサンプル
2 フレーム内符号化	<p>予測符号化 右画像、左画像の区別なく画素どうしの差分を伝送する。</p> <p>変換符号化 左右の画素が混在する画素ブロックにたいし直交変換をほどこす。</p> <p>ベクトル量子化 左右の両方の画素を使ってベクトル空間を形成する。</p>
3 フレーム間符号化	<p>予測符号化 左右の画像の差分を伝送する。</p> <p>画素書き換え 左右の画像間の差分が大きい部分の画素だけ伝送する。</p>
4 動き補償	<p>左右画像間で平行移動ベクトルを検出し左右間の差分を最少化する。</p> <p>(3 次元的動き補償)</p>
5 知的符号化	2 眼式立体画像でしか得られない奥行情報などを積極的に活用する。

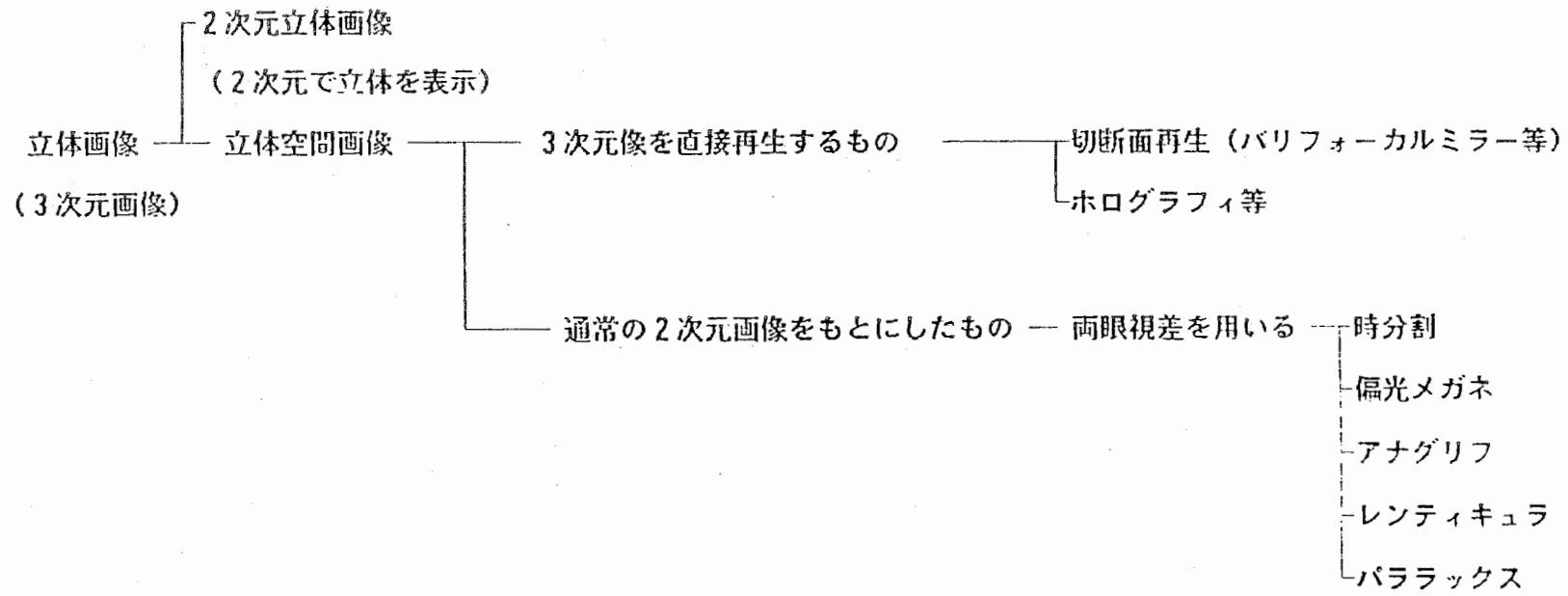


図 1 . 1 立体画像の分類

立体画像通信へ

立体画像の不自然さはどこから来るのかという問題意識のもとで

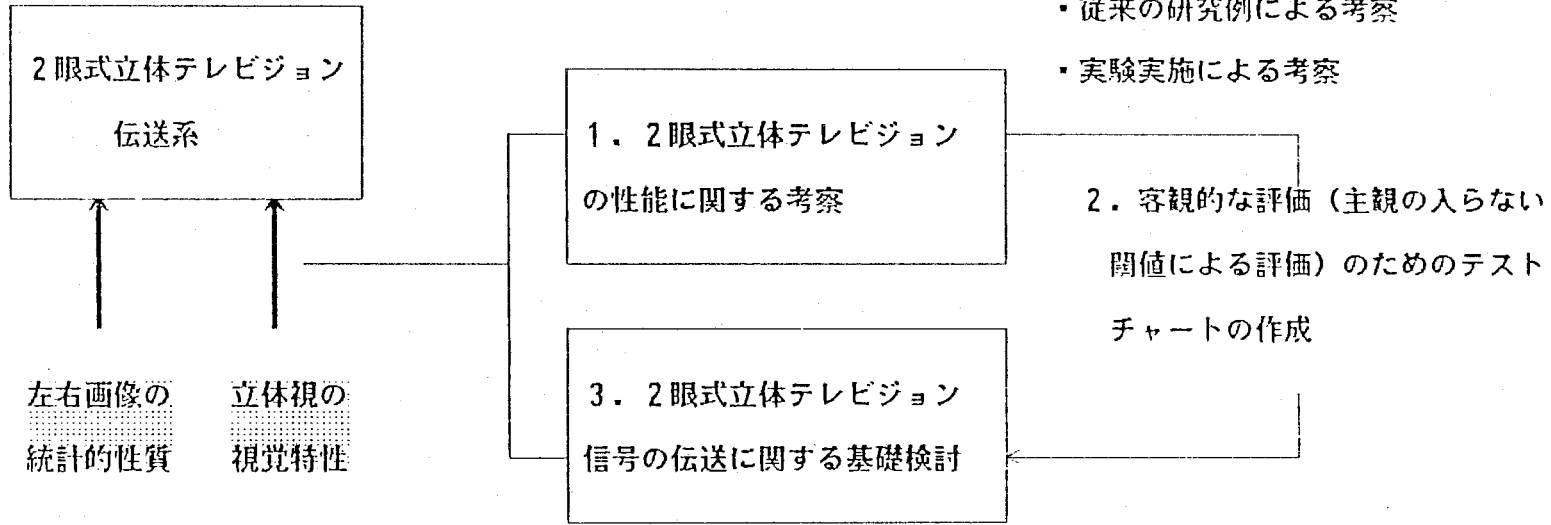


図 2 . 1 検討課題とその位置づけ

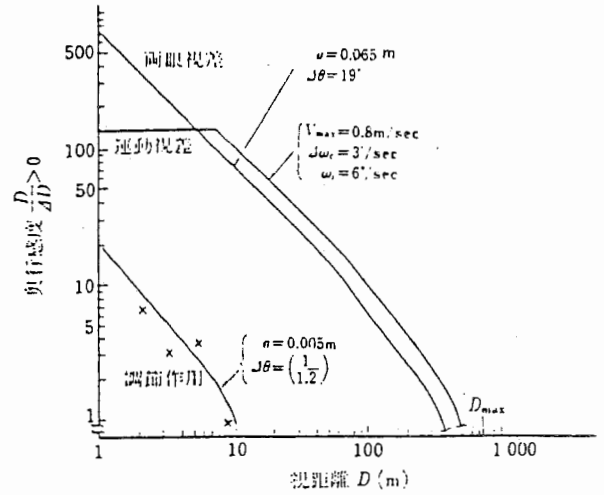
立体視の要因³

要因	項目
生理的要因	① 水晶体の焦点調節 (accommodation)
	② 両眼の輻輳 (convergence) (一点を凝視すること)
	③ 両眼視差 (binocular parallax)
	④ 単眼運動視差 (monocular movement parallax)
心理的要因	① 物の大小 (retinal image size)
	② 物の高低
	③ 物の重なり (overlapping)
	④ きめの粗密 (texture gradient)
	⑤ 形状
視覚的立体的要因	① 明暗 (陰影)
	② コントラスト
	③ 彩度
	④ 色相
	⑤ 鮮明度
視覚的立体的要因	聴覚
	臭覚
	触覚
	その他の感覚 (振動、風、温度、流体など)

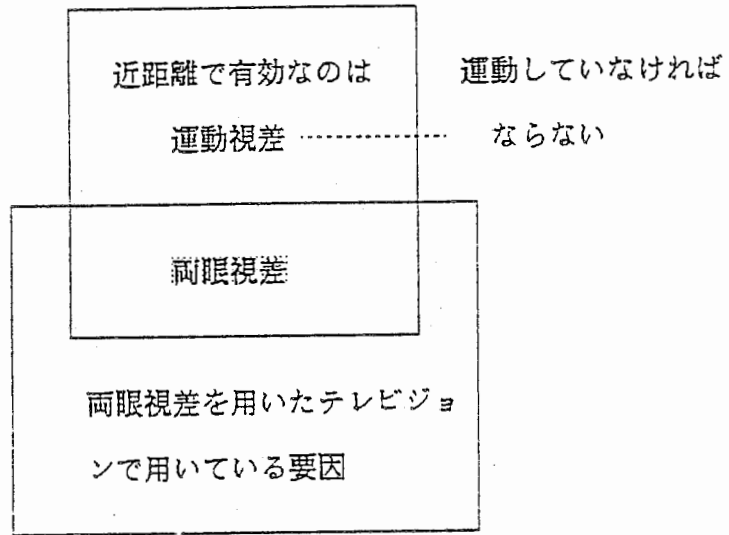
→ 立体感の多くは →
これに起因

過去の経験、推測に
基づく

補助的な役割



各要因による奥行き感度の
距離特性⁴

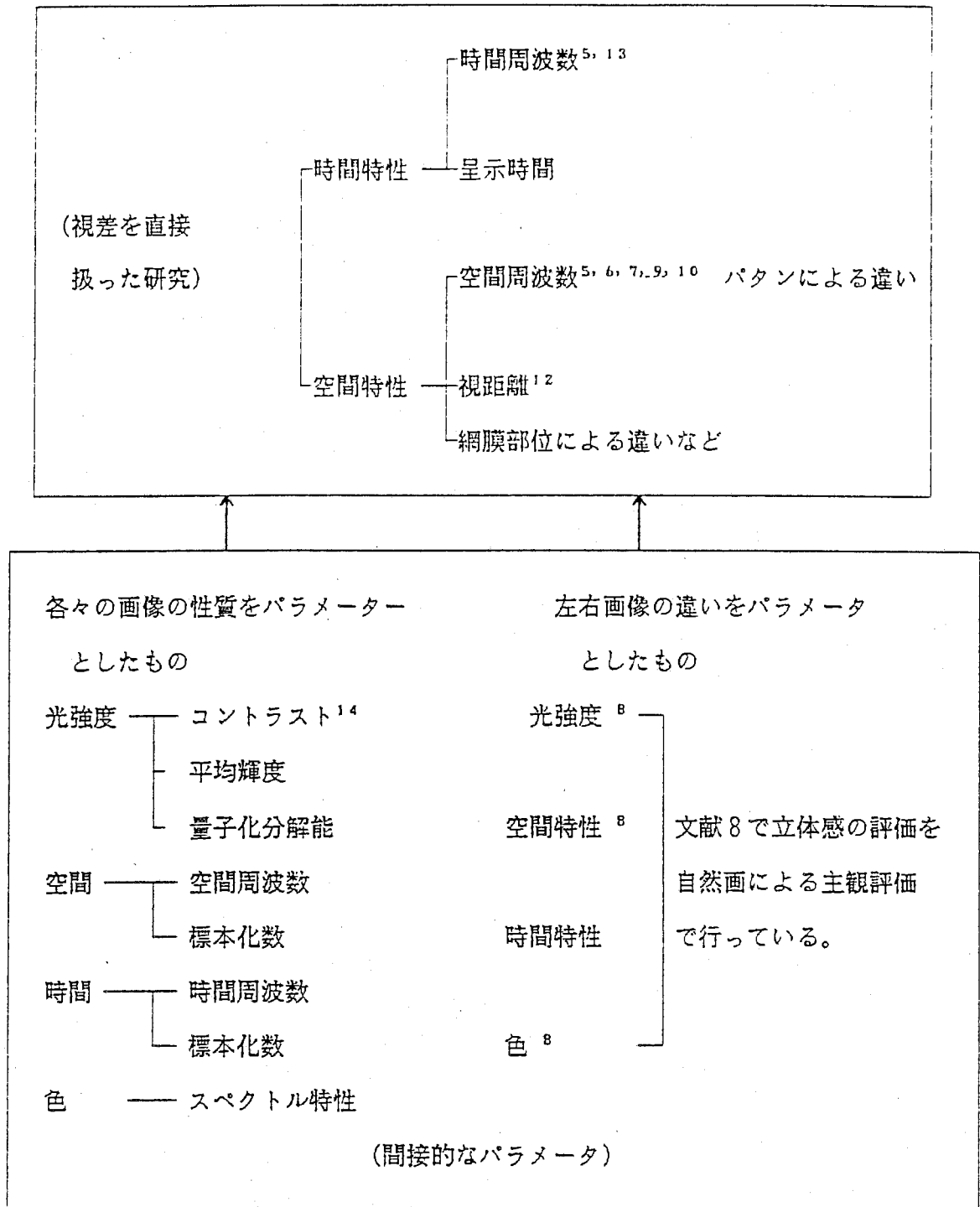


両眼視差特性を分類すると

弁別閾 ———— どの程度の細かい視差が —————> どれくらいの情報量が
識別できるのか 必要か (基礎検討)

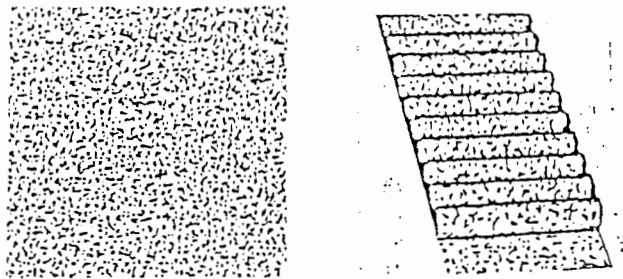
融合閾 ———— 視差等の左右画像の差異が —————> 高能率符号化へ
どの程度許容されるか

図 3. 1 立体視の要因の分類

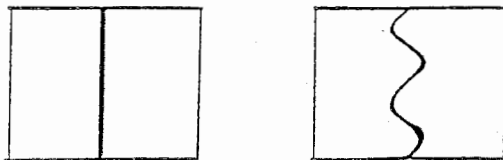


両眼視差の特性に対して各々の画像の性質がどのような影響を及ぼすのか（上図のでしめた部分）を調べる必要がある。

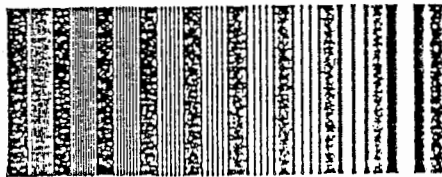
図3. 2 眼視差弁別閾の研究の概観



(a) ランダムドットパターンの正弦波状の視差 (NHK/長田)³



(b) 縦帯の正弦波状の視差 (C.W.Tyler)⁴



(c) マルチバーストに正弦波状の視差をつける

図4. 1 現在検討中の2眼式立体テレビテストチャート

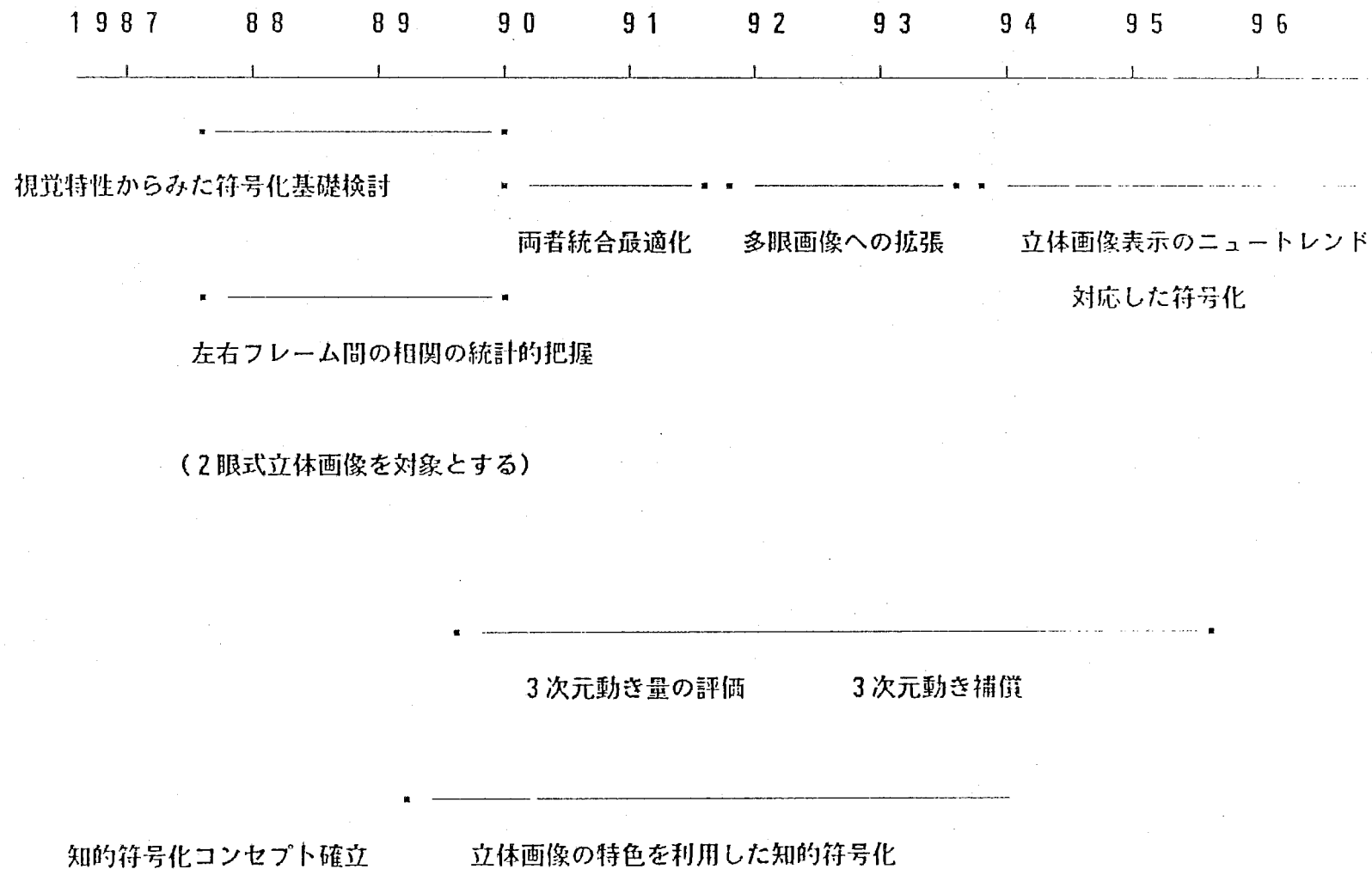


図4.2 立体画像符号化のタイムテーブル

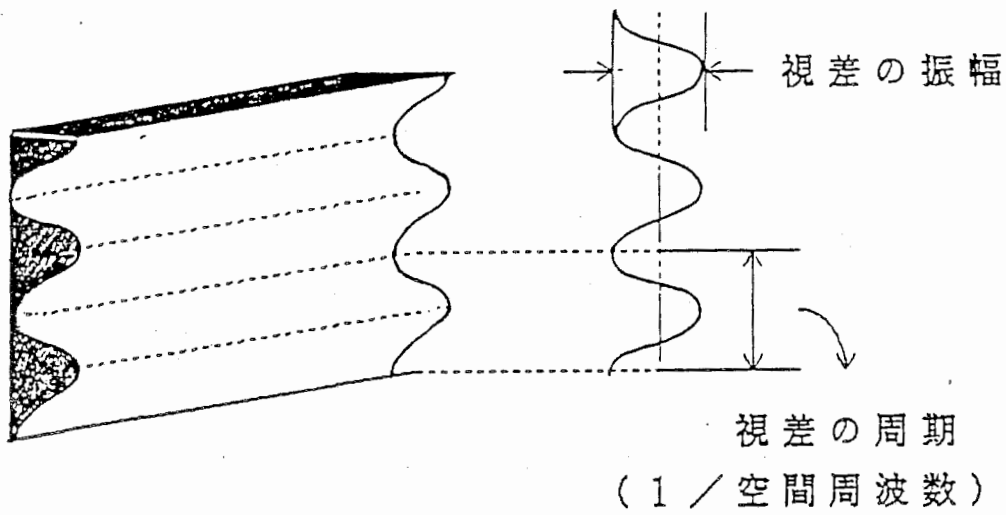


図 4. 3 奥行き方向正弦波

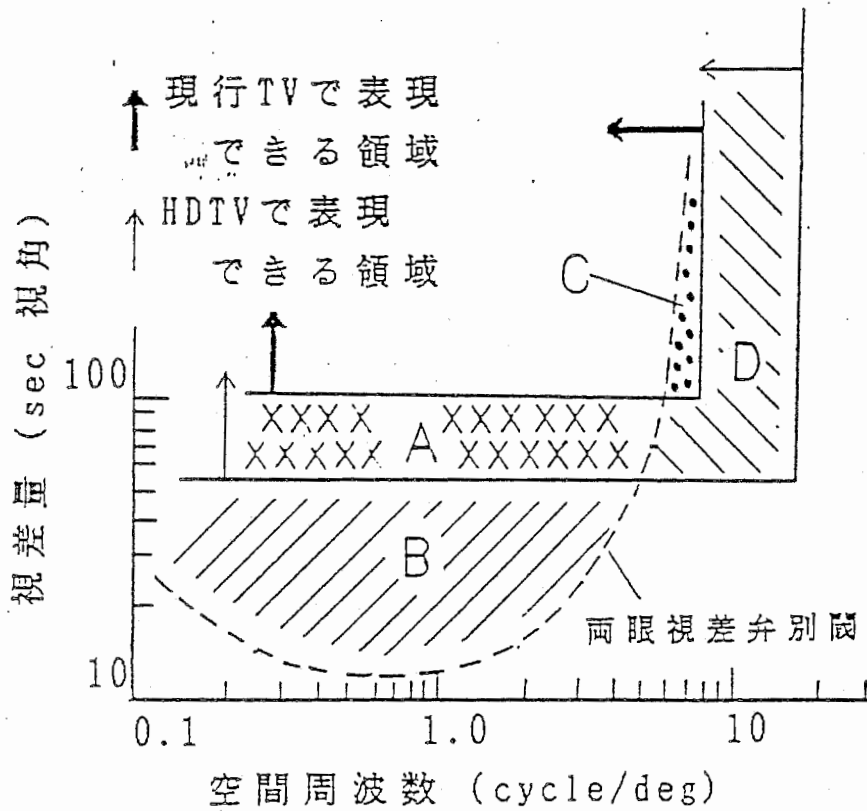


図 4. 4 奥行き方向正弦波空間周波数特性

(視距離 3.8H 視標の視角 15 deg のとき)

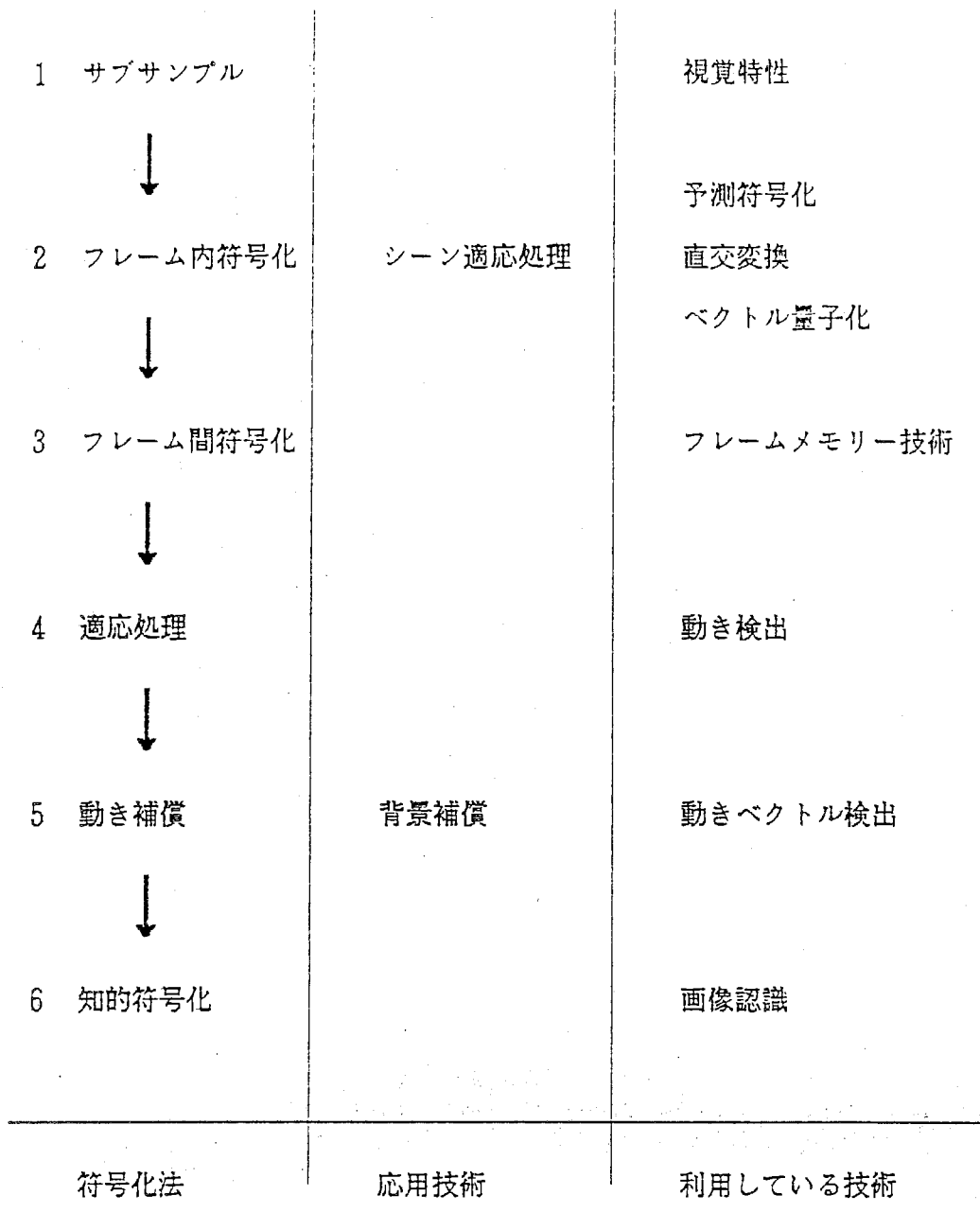


図 5. 1 画像符号化に於ける基本的な手法

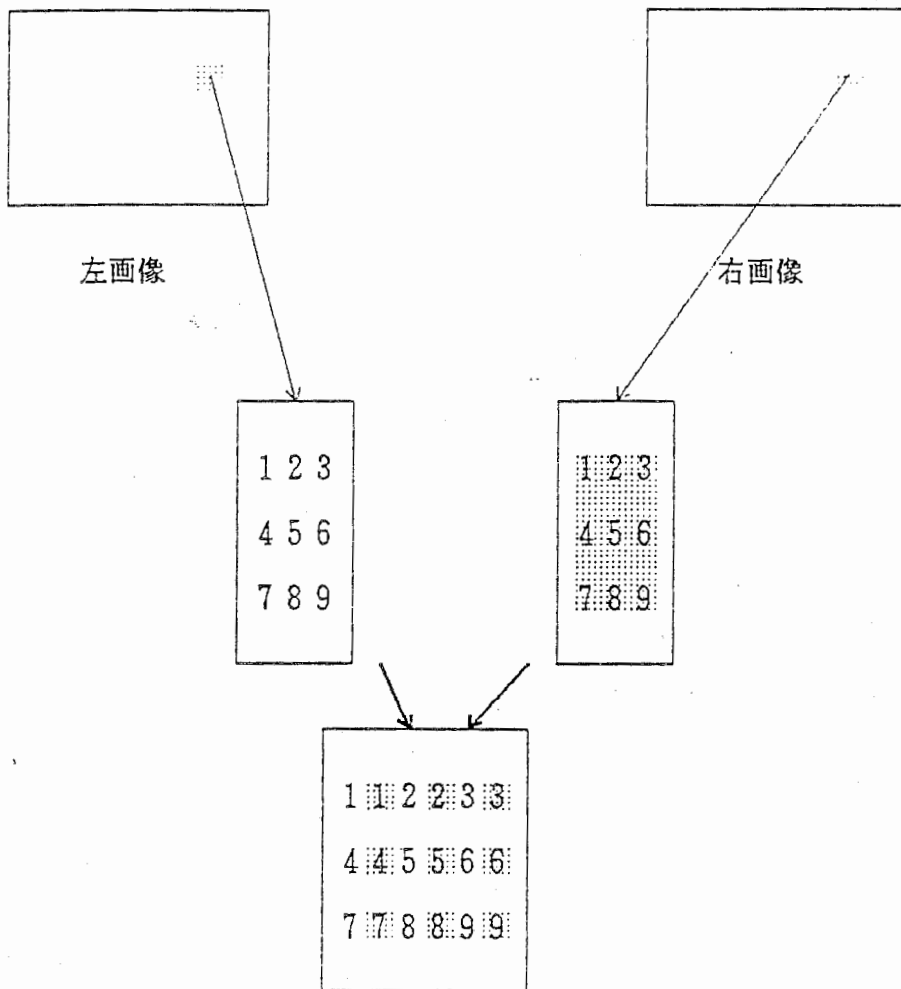


図5. 2 左右結合ブロック

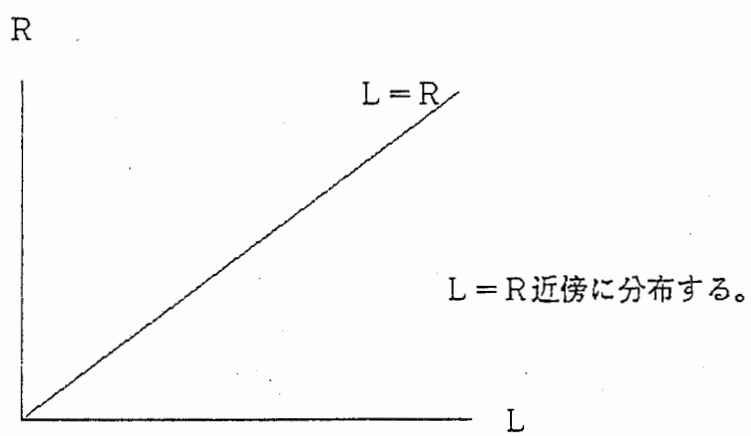
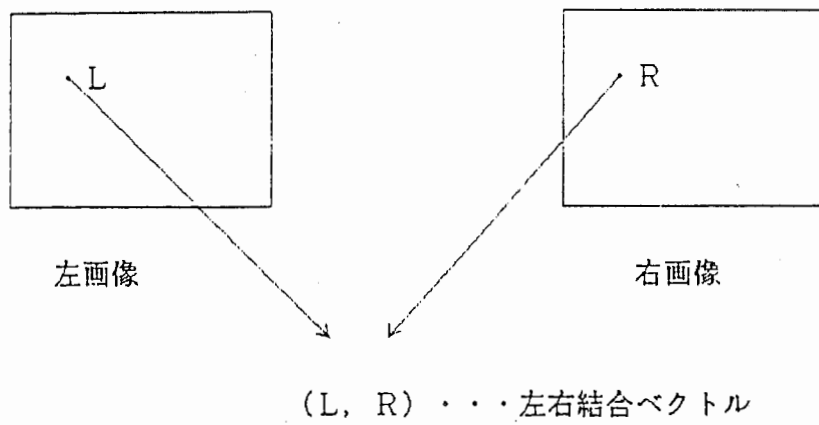


図5.3 左右結合ベクトル

