仮現運動と視域運動 ～視知覚信号処理工学の礎～

Apparent Motion and Visible-Band Motion -The Basis of Signal Processing of Visual Perception-

名誉会員 吹抜敬彦[†]

Takahiko Fukinuki[†]

Abstract Sampled motion in TV and movies, e.g., has been considered to be apparent motion (AM). Here in this paper, it is emphasized that these two motions are completely different, and the former is named "visible-band motion (VBM)". In the VBM, real motion components exist in the visible-band in the spatio-temporal frequency domain, while the AM may be due to brain's higher functions. Hence, these two should be studied as complete different phenomena for the future expansion.

キーワード：コマ送り，仮現運動，時空間周波数領域，視域運動，視覚系特性

1. ま え が き

映画を含め動画の「コマ送り表現」は19世紀に始って足掛け3世紀になる。この原理の起源は，ゲシュタルト心理学における仮現運動（特に β 運動）であるという¹⁾。

これまで，筆者は，このコマ送りを含むいろいろの動視覚現象を時空間領域において通信理論（標本化定理など）⁸⁾⁹⁾に基いて解明し^{2)~7)}，「視知覚信号処理工学」と称した。

この際，一部の心理系研究者との間に「厚い壁」を感じた。用語の定義が違うのではないか。このような時，ある査読付き論文¹⁰⁾の「まえがき」を読んだ。これまでの議論を思い出すと，一脈通じるものがある。そこで，（特にこの論文にこだわる訳ではないが）一つの考え方として検証したい。

そして，仮現運動とはまったく異質の現象として，上記「コマ送り」などの運動を「視域運動」（可視時空間周波数帯域運動）と命名し，この考え方を提唱する。

2. 「ある考え方」：問題提起

上記¹⁰⁾の「まえがき」の抜粋を示す（番号①②や[・]は筆者が付けたものである）。

- ①テレビや映画など…では，複数枚の静止画を…連続して[動画を]提示している。[コマ送り]
- ②この原理の起源はゲシュタルト心理学における基本原理の一つである仮現運動（ β 運動）である…
- ③原因を考察する認知科学と，見える結果を重視する光

2009年4月，電子情報通信学会画像工学研究会で発表

2009年2月23日受付，2009年7月30日最終受付，2009年7月21日採録

[†]イメトピア研究室

(〒189-0012 東村山市萩山町3-28-1-813, TEL 042-392-0804)

[†]Imetopia Institute

(3-28-1-813 Hagiyaama Higashi-Murayama Tokyo 189-0012, Japan)

学・映像メディア領域では…動画知覚メカニズムに関する見解が…異なっている。

- ④見解の相違の分岐点はWatsonが…標本化定理とフーリエ変換によって説明した理論¹¹⁾（付録B参照）。
- ⑤この理論によって，…動画知覚は矛盾なく説明可能である。
- ⑥この理論…を前提にして認知科学側から実際の運動の知覚を説明する場合，人のすべての動きを機械的に標本化しているという矛盾が生じるので，認知科学側の領域ではあまり支持されていない。
- ⑦この理論は着想自体は幅広く評価されているが，(i) 理論の有効性を疑問視する立場（吉村浩一）¹⁾と(ii) 支持する立場（吹抜敬彦）⁷⁾，がある。とりわけ認知科学においては否定的な意見が多い。

まず問題は，「②コマ送りの起源は β 運動である」である。これは本当なのだろうか。この仮現運動の定義の曖昧さが前記の「壁」の出発点であると思う。

筆者は③の分類によれば映像メディア領域に属すると思うが，この立場から「原因」を考察している。

3. いわゆる「仮現運動」と関連する現象の明確化

3.1 「仮現運動」と「コマ送り」の分離

蘆田宏氏は，この二つを次のように区別している¹²⁾。

歴史的経緯を含めて考えると，孤立要素（複数でも良い）が一度に長い距離を移動するいわゆる古典的仮現運動を仮現運動と呼ぶのが適当であろう。

映画やテレビの動画はその範疇には入らない。運動視研究では，より明確にSampled Motionなどと呼ぶこともある。何れにせよ基本的には時空間低域濾波器を掛ければ動き信号が取出せる。

表1 動視覚現象の分類
Classification of visual perception for motions.

現象名	現象例	現象の特徴	主な検証手法	備考
仮現運動 (認知科学, 心理学系)	Step motion 的仮現運動 β , δ ¹⁾ , ϕ 運動 ^{1,2)} , etc.	・数回/sec 以下の現象 ・脳における高次のメカニズム	・視覚実験(長い歴史) ・脳内の反応	
視域運動 (映情メディア系, 等)	テレビ, 映画コマ送り ^{4~6)} 輝度と色の統合 ^{2)~4)} 鋭鈍画像繰返し ²⁾ , etc.	・数 10Hz 以上の現象 ・視覚系における 時空間低域濾波機能.	・時空間信号処理 フーリエ解析 (1980 年台以降).	視知覚信号 処理工学

*この他, 「何れに属するか未解な現象(two/four stroke 運動)や, 「心理学で扱われているが単なる物理現象と言うべき現象(ブラッド運動)」もある.

図1 仮現運動と視域運動の周波数 (概念図)
Frequency bands of apparent motion and visible-band motion.

3.2 筆者による仮現運動と視域運動の考え方

筆者は蘆田氏の考えに近い。これに筆者の考えを加えて下記のように整理する。第2項「視域運動」の由来は、所望の運動成分が可視時空間周波数帯域に存在するからである。題記の二つの運動は、長/短距離運動などの差ではなく、以下に述べるように完全に異質な現象であると考ええる。

◇(古典的) 仮現運動

- 狭義の仮現運動, β 運動, ϕ 現象 ([付C] 参照) 等, Step-motion的運動(前記③によれば, 認知科学の対象)。
- ・数100msec単位 (or数回/sec以下) の現象。
- ・画像に所望の成分が存在しない。
- ・事象と事象の補間には高度の脳機能が絡む。

◇視域運動(可視時空間周波数帯域運動)

- Sampled Motion (コマ送り), 鋭鈍画像繰返し, 等 (前記③によれば映像メディアの対象。ただし, 認知科学の対象ともなっているようである¹³⁾)。
- ・数10Hz以上の現象。
- ・視覚の時間周波数通過帯域(臨界フリッカ周波数以下)に絡んだ現象。
- ・可視周波数帯域に所望の実際運動成分が存在する。
- ・事象の補間は視覚系の時空間低域濾波機能が行う。

代表的仮現運動の β 運動では最適時相 [付録C] は200～300msecであり, ϕ 運動では周期1Hz程度である。これでは1～2桁異なるテレビ (60Hz) の見え方は説明できない。

一方, 視域運動の代表例である「コマ送り」は, 付録Bに述べるように, 標本化定理⁸⁾⁹⁾ そのものである。コマ送り (時間標本化) すると, 視覚系の時空間低域濾波器の通過帯域に所望の運動成分が基底帯域信号として存在する。これが視覚系出力として取出される。標本化により派生した成分は通過帯域外となって感知されない。

前述のWatsonはこの時空間低域濾波機能を「spatio-temporal filtering action of the eye」という¹¹⁾。筆者も同意見だが, 日本では「脳の高度の働き」とする考えも根強い。筆者が解

明した他の多くの現象 (付表1) でも同様である。以上に若干の補足事項を加えて, 表1と図1にまとめる。ちなみに, 数回/sec～数10Hzの間には該当する現象が見当たらず, 空白になっている。

4. 前述の「ある考え方」の考察

このように仮現運動とWatson理論の性格をハッキリさせた上で, 前記の「考え方」¹⁰⁾を考察する。

まず, なぜ, コマ送りの理論によって動画全般を矛盾なく説明できる(⑤)ののだろうか。この理論では, (古典的) 仮現運動は説明できない筈である。

また, 認知科学で, 一体どうして, すべての動きを標本化していると考える(⑥)のであろうか。コマ送りでは, 標本化された信号を受動的に受けて, 基底成分を取出している。

さらに, ⑦においても, β 運動や ϕ 運動¹²⁾など認知科学系現象はまったく異質な現象であるため, この理論はもともと適用できない。すなわち, (古典的) 仮現運動に対してはまったく無用である。一方, 筆者は, コマ送りなど付表1に示す視域運動をこの理論の思想で解明した。したがって, (i) (ii) の対立的な表現は誤解を招く。

以上のように, 見解の相違ではなく, 対象とする現象が本質的に別なのであり, 解明方法も別であるべきである。

5. む す び

永らく「(狭義の) 仮現運動」と「視域運動」が混同視されたため, 解明が遅れたり, 虚しい議論が繰返される等があった。今後の発展のため, 明快に区別した議論が望まれる。関係学会の研究者とさらに議論を深めたい。

最後に, 議論して頂いた法政大文学部心理学科吉村浩一教授に感謝します。

〔文 献〕

- 1) 吉村浩一: “運動現象のタキシノミー”, ナカニシヤ出版 (京都, 2006)
- 2) 吹抜: “視知覚信号処理工学のすすめ～視知覚心理現象を時空間周波数領域で解く～”, 信学技報 (IE+SIP) 2008-z (Apr. 2008)
- 3) 吹抜: “仮現運動への疑問ー時空間標本化によるTV信号の解明ー”, 日本基礎心理学会フォーラム (Dec. 0206)
- 4) 吹抜: “仮現運動への疑問ー時空間信号処理による動画の解明ー (講演記録)”, 基礎心理学会誌 (Sep. 2007)
- 5) 吹抜, 北村彰規: “テレビ撮像系や表示系におけるシャッタ機能の時空間標本化からの考察”, 映情学誌, 59, 12, pp.93-98 (Dec. 2005)
- 6) 吹抜: “仮現運動は実在するのか”, 映情学年大2-5, (Aug. 2006)

- 7) 吹抜: “TVの見え方の説明に仮現運動は要るのか”, 映情学誌, 60, 12 (Dec. 2006)
- 8) 吹抜: “TV画像の多次元信号処理”, 日刊工業 (東京, Oct. 1988)
- 9) 吹抜: “画像・メディア工学 (電子情報通信学会レクチャシリーズ)”, コロナ社 (東京, Oct. 2002)
- 10) 坂本泰宏, 稲盛正彦: “光学的な遮断を用いない動画装置による仮現運動の再定義と新しいイメージメディア創造”, 映情学誌, 63, 1, pp.66-75 (Jan. 2009)
- 11) A.B. Watson, et. al: "Window of Visibility: A Psycho-physical Theory of Fidelity in Time Sampled Motion Displays", J. Opt. Soc. Am, A/, 3, 3, pp.300-307 (Mar. 1986)
- 12) 蘆田 宏: “動き知覚と動画の認識”, 映情学誌, 58, 8, pp.1151-1156 (Aug. 2004)
- 13) 西田真也: “画像符号化技術を意識した人間の視覚系の研究”, PCSJ2006特別講演 (修善寺, Nov. 2006)
- 14) 吹抜, 貴家仁志: “3次元信号の1次元標本化におけるアパーチャ補正と動領域ボヤケ抑圧”, 2008信学ソ大, A4-19 (Sep. 2008)
- 15) 吹抜: “動画信号の時空間領域における基本特性～コマ送りはなぜ可能なのか”, 信学技報IE2009-3 (Apr. 2009) (予定)
- 16) 吹抜: “鋭/鈍繰返し画像の解明とフレーム内挿倍速表示などへの応用”, 映情学誌, 63, 4, pp.549-552 (Apr. 2009)

＜付 録＞

＜付録A＞ 視域運動として解明した例

筆者はWatsonの理論を発展させ、さらに、視覚現象を解明してきた。付表1にそれらをリストアップする。

＜付録B＞ コマ送りにおける時間標本化と時空間復調

視域運動の代表例としてコマ送りを説明する^{5) 11)}。ただし、繰返し説明しているので簡単に触れる*。

水平移動する輝線画像信号 $\delta(x-vt)$ の時間標本化とその復調を考える。この信号を付図1「水平x-垂直y」や、付図2(a)「水平x-時間t」に示す。

付表1 筆者が解明した視域運動の例^{2) ~4)}

Examples of visible-band motions clarified by the author.

コマ送り	Watsonの理論の拡大	・◇型視覚特性 ⁵⁾ ・追従視の導入 ⁵⁾
	コマ送り関連の解析	・コマ送りが可能な条件 ^{1,5)} ・液晶テレビ動領域ボヤケの解明 ⁵⁾ ・アパーチャ補正によるボヤケ抑圧 ¹⁴⁾
運動による色知覚 ^{1,3)}		・色知覚の変調: 混色 ^{2)~4)} *1 ・色知覚の分解 ^{2)~4)} *1
鋭鈍画像の繰返し ²⁾		・現象の解明 ²⁾ ・フレーム倍速液晶テレビへの応用 ²⁾
motion sharpening		・(発表予定)
その他		・ワゴンホイール効果 ^{2)*2}

*1 "sample" は必須要件ではない。時間的に連続量でも良い。

*2 原因も周知の現象であり、これを視域運動の解法と同じ手法で解くことによって、この手法の妥当性を示すのが目的である。

水平方向に速度 v で移動

「水平x-垂直y」領域

付図1 2次元画像における垂直輝線の水平移動

Horizontal motion of a vertical line in a two-dimensional picture.

これを、60Hz、かつ(時間)開口率 $\tau=0.0$ で撮像(すなわち時間標本化)すれば、付図2(c)に示す点(●)からなる標本値信号系列となる。付図2(a)の周波数スペクトルを求め、[水平周波数 μ - 時間周波数 f] 領域で付図2(b)に示す。また、点系列(付図2(c))のスペクトルを付図2(d)に示す。走査により、付図2(b)に対応する基底成分Aのほか、標本化により成分B, Cが発生する。

標本化の復調として、視覚系の時空間濾波機能¹⁶⁾(付図2(d)の◇または変形◇)を経て観視すると、BとCの成分は知覚されず、基底成分Aのみが知覚される。すなわち、ほぼ元の移動図形(付図1および付図2(a))に復調される。

＜付録C＞ 仮現運動の例

ゲシュタルト心理学で扱われてきた現象例を述べる^{1) 12)}。

φ運動: 例えば、踏切の赤い点滅灯で、何もない中間に軌跡が知覚される。

β運動: 2灯のうち的一方が消灯され、他が点灯される時、上記の現象が起きる。これが良く観察される両者の時間間隔を最適時相を言い、200~300msecである由。この他、時間関係により、継時相、運動相、同時相がある。

(a) 水平移動時の [x, t] (b) 時空間スペクトル

(c) 標本化された [x - y] 垂直線 (d) 標本点のスペクトル

速度 v の単位: (例) 単位時間(フィールド)当りの移動画素数。

A: 基底帯域のスペクトル。

BとC: 標本化によって生じたスペクトル。

◇: (理想化された) 視覚的な[時間-水平]通過帯域。

変形◇(太線): 追従視を考慮した視覚的[時間-水平]通過帯域。

限界は、水平: 視覚の光学系(網膜の錐体、水晶体など)による。

垂直: 大面積フリッカから決まる値(50 ~ 55Hz)。

付図2 水平移動 [x, t] と時空間スペクトル

Horizontal motion [x, t] and its frequency spectrum.

吹抜 敬彦

1959年、京都大学電子工学科卒業。1961年、同大学修士課程修了。1961年~1995年、日立製作所中央研究所。技師長を最後に、1995年~2006年、私大工学部教授。現在、同名誉教授、画像信号処理技術コンサルタント(fukinuki@m.eice.org)。1968年より、画像信号処理(高能率符号化、高精細化、視覚信号処理工学、テレビ方式)の研究に従事。本会功績賞、業績賞、著述賞、論文賞、信学会業績賞、著述賞、科技庁長官功労賞、東京都功労賞、発明協会特賞などを受賞。IEEE Life Fellow、信学会フェロー、工学博士、名誉会員。

* これはWatsonの理論を発展させたものである。