

ランダムに配置された粒子群画像の周期的提示による運動認知 Virtual Measurement of Perceived Translational Velocity of Periodically Illuminated Random Dots

大槻 正伸, 遠藤 佑哉, 蛭田 一希, 小泉 康一, 車田 研一[†]
Masanobu Ohtsuki, Yuya Endoh, Kazuki Hiruta, Koichi Koizumi, Kenichi Kurumada

[†]福島工業高等専門学校

National Institute of Technology, Fukushima College

ohtsuki@fukushima-nct.ac.jp

Abstract

A method for virtual measurements of translational velocity of illuminated dots shown on the screen at various constant time intervals and number densities was proposed. The subjects were requested to evaluate the apparent velocity of the illuminated dots by finding the corresponding constant translational motion of a red circular mark shown aside. The average separation distance between a pair of adjacent dots is seen almost proportionally correlated to the perceived velocity exhibited by the continual images of the randomly scattered dots illuminated on the screen.

Keywords — Apparent movement(motion), Random Dots, Translational velocity, Virtual Measurement

1. はじめに

人間は、粒状や粉状の物質の流れ（砂糖がさらさらと自然に落下している場合や、粉が混合機内で混ぜ合わされている場合等の流れ）、特に流れの速度をどのように認知しているのであろうか？ 粒状物質が、総じて一方向へ運動をしているとき、それが連続体（水やゲル状のもの）の運動として誤認される可能性がある、という経験的な事実がある。これはプロセス工学的観点では、運動しながら加工される途中の製品を視覚のみで判別する場合、対象性状の誤認につながる問題である。例えば、チーズ工場では、原料の粉体が混合機で混ぜられていき、そのうちにどろどろのチーズになるのを職人がのぞき窓から見て認知し混合機をとめる。これを誤認すると製品製造上大きな問題であるが、多くの場合、職人はこれを正確に認知する。

今回の「粒状物質の流れの認知研究」には以上のような背景がある。

文献[2]で、我々は以下のように粒子群の流れの特徴認知の一側面について研究した。

(1) 鉛直下方へ約 2[m/s]で運動する粒子群を毎秒 5000 コマで高速度撮影する。

この動画のコマ要素をランダムな順番に並べ替え、それを毎秒 10 コマで再生する（この「時系列ランダム化動画」は、各粒子の瞬間位置のメモリーを強

制的に破棄した粒子位置像である）。

(2) 時系列ランダム化動画を観察者に提示すると、

- もとの時系列動画と比較して粒子の見かけ運動速度がはるかに大きくなる、
- 粒子群の位置が時系列上は完全にランダム化されているにもかかわらず、粒子群は鉛直下方へ並進運動しているような視覚印象を観察者に与えること等が示された。

時系列ランダム化動画は、各粒子の位置自己相関は完全に消去されているから、相互に脈絡のない粒子群の画像が次々に現れるだけである。しかし人間の視覚は隣接するコマ間での粒子群の位置の自己相関を補間的に創出し、粒子群が鉛直下方へ並進運動していると認識するものと考えられる。

2. ランダムな粒子画像の運動認知

粒子の時間的情報をなくした画像を高速に提示すると、人間はそれを落下等の運動と知覚することが分った。そこで、その人工的なモデルとして、コンピュータで全くランダムに点を配置した画像をある周期で提示したら、人はどのような運動として認知するかを調べることにした。もちろん、ある周期で提示される画像は、その都度乱数により全くランダムな位置に配置される。したがって、 p 枚目と q 枚目の画像の相関はない ($p \neq q$)。この刺激をここでは「ランダムドット群の周期的提示刺激」とよぶことにする。

本研究に近い視覚心理学的研究には、仮現運動（対象物が離散的に空間的位置を変えていく場合であっても実際には運動しているような知覚を生ずる現象）についての研究事例がある^{[1][3][4][5]}。仮現運動の例としては「動くネオンサイン」のように、ネオンランプが実際に動いているわけではなく、多くのランプを適当な時間間隔で点灯させたり、消灯させたりをうまく制御することによって、まるであるパターン（簡単な絵や文字等）が動いているかのような視覚印象を作り出す

現象がある。

仮現運動の視覚心理学的研究には、ランダムドットキネマトグラムによる、刺激提示時間、刺激提示時間間隔、空間間隔等と、仮現運動の知覚の強さ、正確さとの関係等の研究がなされている^{[1][3][5]}。しかし、全くの「ランダムドット群の周期的提示刺激」に対する運動認知に関する既往の研究は少ない。

さて、コンピュータで制御された「ランダムドット群の周期的提示刺激」を見ると、観察者による、ある運動（ドット群の流れ）の知覚は、簡単にできる。さらに、観察者に「上（下）に動いているものと感じるよう」と指示をすると、観察者がそれを意識すると、実際に観察者は、上（下）に動く運動として感じることができる。

意思による、被知覚錯視画像の認知内容を制御できることはしばしば経験される。例えば図1(A)図を見て、(B)または(C)の直方体を知覚できるが、意思によってどちらか一方の錯視に収束させることができる。この他にも、「回る女性の錯視」^[6]も有名な仮現運動錯視で、観察者は自分の意思で、2つ（右回りか左回りか）の錯視のうちどちらかに収束させることができる。

ランダムな位置のドット群の周期提示刺激による仮現運動の方向は、上記2例（図1、文献[6]）よりも、意思による収束の制御が簡単であるという印象がある。

さらに、「右（左）の運動として知覚する」「斜め右（左）上がり（下がり）の運動として知覚する」等々も比較的簡単に意思により制御できることが経験されている。

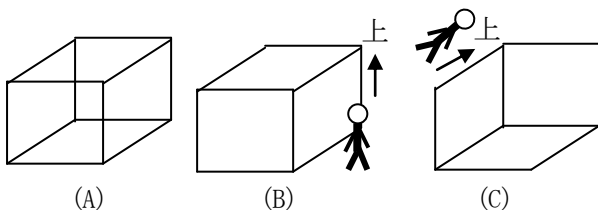


図1 2種類の直方体の錯視

((A)を見ると直方体(B)か直方体(C)を知覚できる。)

3. 知覚速度の測定実験

今回は、ランダムドット群の周期的提示刺激による、運動知覚、特に知覚速度の測定実験を行った。

まず測定ツールとして、図1に示す画面を提示するプログラムをDelphi2010で設計した。このプログラムでは、右の10[cm]四方の枠内に粒子を n 個ランダムな位置に表示し続け、指定された時間後にまた全くランダムな n 個の粒子を表示する、という動作を繰り返す。

さらに、「速度比較粒子」（枠中左のやや大きな赤紫色の点）を表示し、この点の上下運動の速度を「↑↑」「↑」「↓」「↓↓」ボタンで変化できるようにした。

- ・提示する周期（100[ms]に一回提示等）
 - ・粒子の大きさ（円の直径）
 - ・粒子の個数(n)
- も可変とした。

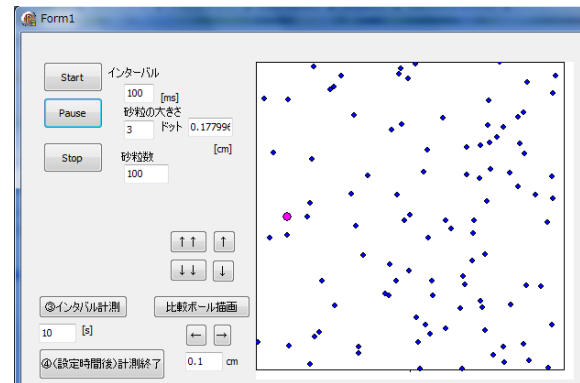


図2 提示するランダムドット画面の例

このプログラムにより、ランダムな位置にほぼ円形の粒が配置された画像を、指定された時間毎に毎回新たなランダムな位置で表示する。そして指定された時間提示し続ける。今回は、被験者にこのプログラムによる画像を提示し、鉛直方向の上昇運動と落下運動の観察者による知覚速度を計測することとした。

実験は次のような手順で行った。

- (1) コンピュータ画面を観察者の正面に配置し、観察者の両眼-画面間距離を50[cm]とし、このプログラムによりランダムに粒子が配置される画像を指定された周期で提示する。
- (2) 観察者は「上昇（あるいは落下）するものと思って見るように」どちらかに意思を決定する。
- (3) 観察者は、速度比較粒子の速度を、画面の「↑↑」「↑」ボタン、「↓↓」「↓」ボタンの操作により変化させる（「↑」より「↑↑」ボタンの方が速度を大きく変化させることができる。「↑」ボタンは微調整用として用いる）。そうして、認知される粒子群の運動速度と速度比較粒子の速度が一致したと感じたところでキー操作をやめる。
- (4) 速度比較粒子の速度（画面に表示される）を読み取り記録する。
- (5) (1)～(4)を、いくつかの条件で行う。

4. 実験結果

今回はOT1, E, H, K, OT2, OS, Aの7名の観察者(被験者)で実験を行った。結果を図3, 図4に示す。

図3は、提示周期時間を100[ms]一定にして、ドット数を50[個], 100[個], 150[個], 200[個]としたときの観察者ごとの知覚速度の測定結果のグラフであり、図4はドット数を100[個]一定にして、提示周期時間を50[ms], 100[ms], 150[ms], 200[ms]としたときの観察者ごとの知覚速度の測定結果のグラフである。

グラフのOT1↑(↓)は観察者OT1が上昇(落下)を意識したときの知覚速度を示している。

これらの測定結果から、次のことが示唆される。

- (1) 知覚速度には個人差がある。
- (2) 上昇と落下の知覚速度は、同一観察者であっても必ずしも一致しない。
- (3) 上昇知覚速度と落下知覚速度は相関しているが、その大小には個人差がある。
- (4) 周期を100[ms]一定にして、ドット数を変化させた場合(図3)、ドット数の増加にしたがって、知覚速度が減少する傾向の人もいれば、増加する傾向の人もいる。
- (5) ドット数を一定(今回は100[個])とし、刺激提示周期を変化させた場合(図4)、提示周期時間を大きくすると、認知速度は減少するという傾向が強く見られた。

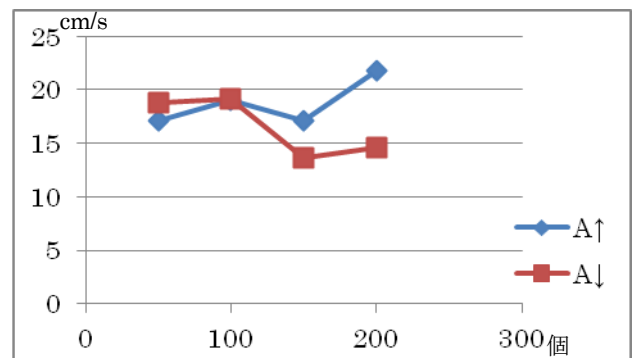
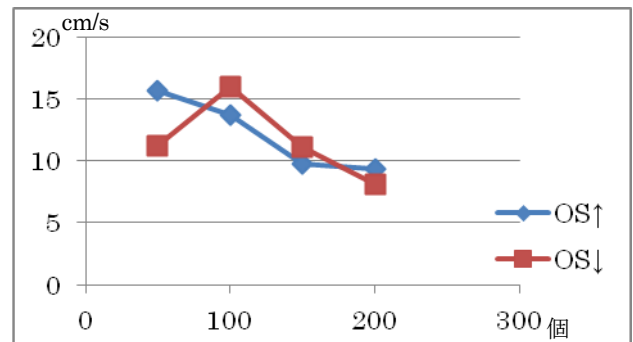
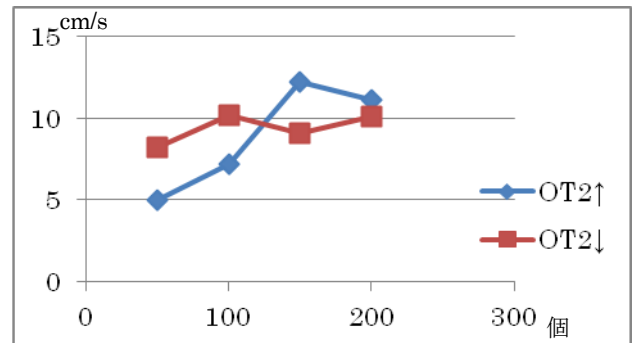
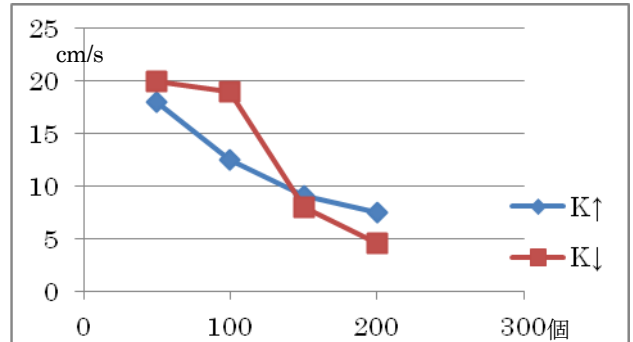
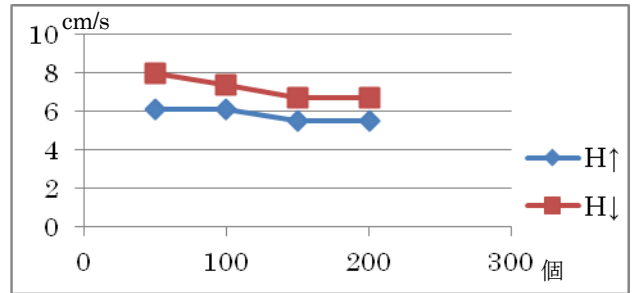
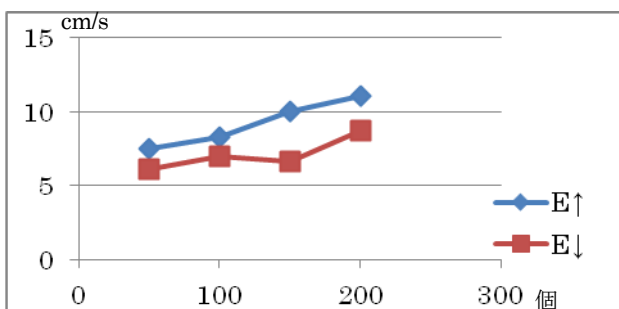
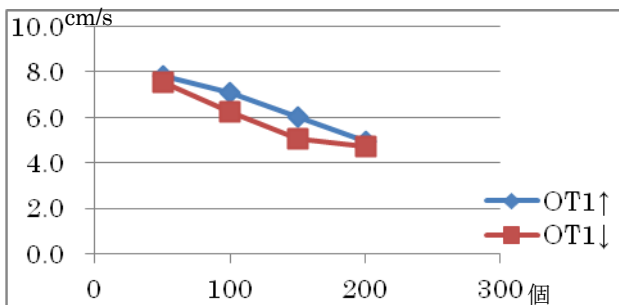


図3 測定結果1 (100[ms]提示) ドット数の変化による知覚速度の変化

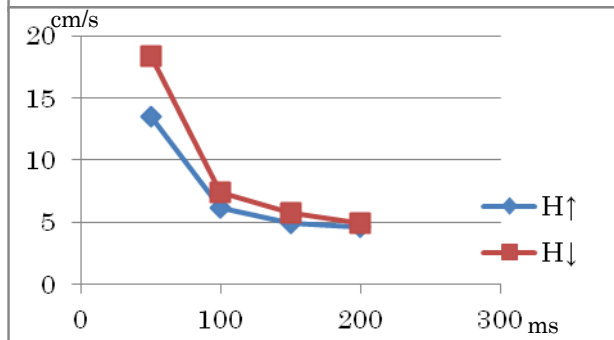
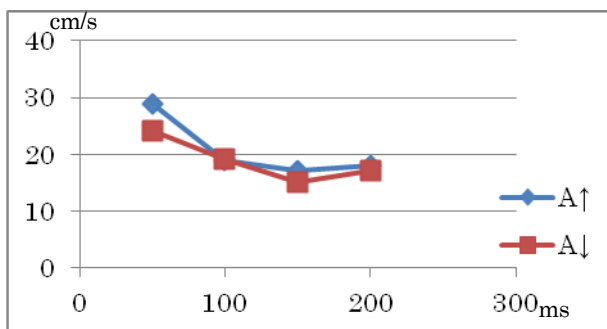
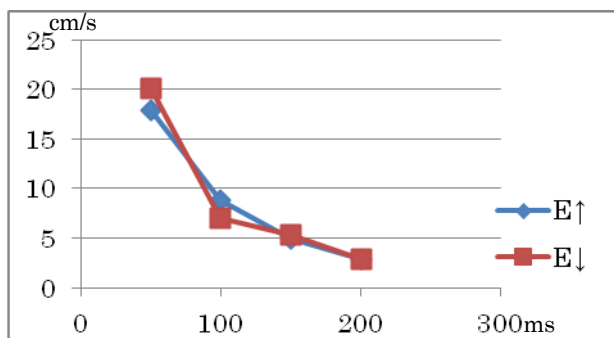
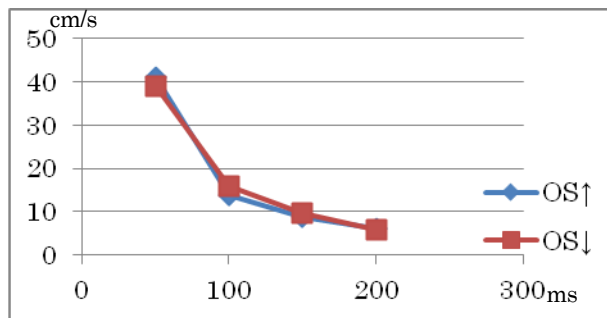
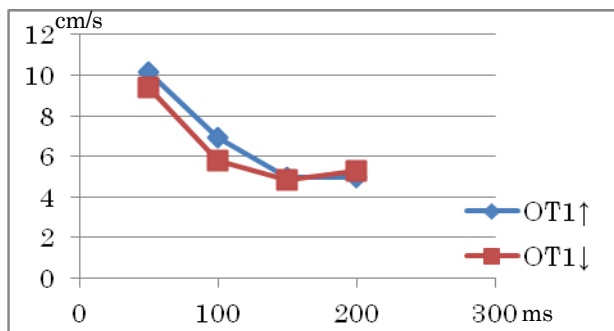


図4 測定結果2 (ドット数100個固定) 提示周期時間変化による知覚速度の変化

5. 考察

あるランダムドット n 個がある画像 $Im1$ と、これと全く確率的に独立な別のランダムドット n 個がある画像 $Im2$ を考える。

$Im1$ のドットを P_1, P_2, \dots, P_n とし, $Im2$ の Q_1, Q_2, \dots, Q_n とする。

$$d_n = \frac{\sum_{i=1}^n \min_j d(P_i, Q_j)}{n} \quad \text{とする。}$$

ここで $d(P,Q)$ は点 P と点 Q の平面上の距離である。
 d_n は、すなわち、ランダムドット画像 $Im1$ の各点に対して、最も近くにある $Im2$ の点までの距離の確率的平均である。これを「最近点平均距離」とよぶことにする。実際に実験で使用した、コンピュータ画面上の10[cm]四方の空間におけるランダムドットの画像で、コンピュータプログラムで最近点平均距離を求めたところ次のようになった。

表1 最近点平均距離

単位[cm]

d_{50}	d_{100}	d_{150}	d_{200}
0.74	0.52	0.42	0.36

仮現運動の認知に、「Im1 の各点 P_i を、Im2 の最も近い点 Q_j に移動したものと解釈する」というメカニズム、あるいはこれに近いメカニズムが働いている仮定すると、認知速度は d_n に比例するという仮説が成り立つ。

今回は、刺激提示周期を

T ($T=50[\text{ms}], 100[\text{ms}], 150[\text{ms}], 200[\text{ms}]$) とし、

$$v = v(n, T) = \frac{d_n}{T} \text{ と認知速度との関係を調べる.}$$

この v を「最近点移動平均速度」とよぶこととする。 v の値をいくつか計算した結果は表 2 のとおりである（特に今回の測定に関係するところを太字にしてある）。

表 2 最近点移動平均速度

$v = v(n, T)$ 単位 [cm/s]

$T \backslash d_n$	d_{50}	d_{100}	d_{150}	d_{200}
50[ms]	14.8	10.4	8.4	7.2
100[ms]	7.4	5.2	4.2	3.6
150[ms]	4.9	3.5	2.8	2.8
200[ms]	3.7	2.6	2.1	1.8

観察者ごとに

- ・ \uparrow (上昇認知速度) \downarrow (落下認知速度),
- ・ 周期 100[ms] 固定, ドット数 100[個] 固定

の条件で、すなわち、図 3, 図 4 の各グラフに対応して、 $v=v(n, T)$ と認知速度 (測定結果) との相関係数を求めたところ表 3 のようになり、強い相関が見られた。特に、ドット数 100[個] の場合はかなり強い相関がみられた。

表 3 には、さらに、観察者が知覚する運動 (上昇, 落下) 速度は、「各個人の持つ特有の定数 α により $\alpha \times v(n, T)$ である」という数学的モデルのもと、各観察者の α を最小二乗法により求めた結果も示してある。すなわち、係数 α は観察者間個人差に対応する指標であると考えられる。

表 3 の観察者 OT1 の、100[ms] 固定の条件での、 \uparrow (上昇) \downarrow (落下) の認知速度と、 $v=v(n, T)$ の関係のグラフを図 5 に示す (表 3 の太字の部分に対応)。

表 3 観察者ごとの $v=v(n, T)$ と知覚速度の相関係数と α

	100[ms] 固定		100[個] 固定	
	相関係数	α	相関係数	α
OT1\uparrow	0.929	1.22	0.991	1.11
OT1\downarrow	0.989	1.13	0.973	1.03
E \uparrow	-0.929	1.61	0.998	1.67
E \downarrow	-0.754	1.25	0.993	1.76
H \uparrow	0.830	1.07	0.987	1.31
H \downarrow	0.974	1.33	0.989	1.70
K \uparrow	0.998	2.34	0.995	3.33
K \downarrow	0.867	2.63	0.989	3.37
OT2 \uparrow	-0.916	1.47	0.969	1.89
OT2 \downarrow	-0.734	1.68	0.970	1.70
OS \uparrow	0.951	2.33	0.993	3.53
OS \downarrow	0.319	2.15	0.999	3.48
A \uparrow	-0.616	3.34	0.973	3.28
A \downarrow	0.768	3.10	0.942	2.90

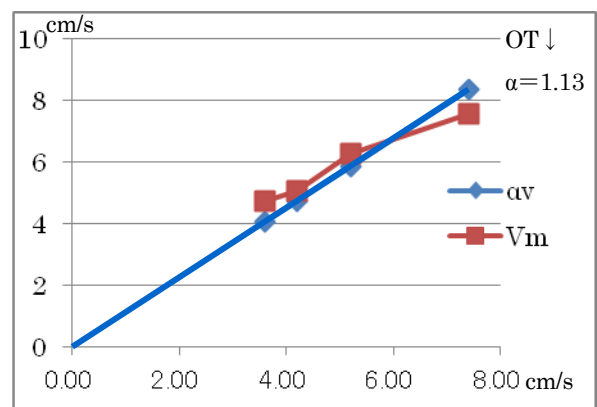
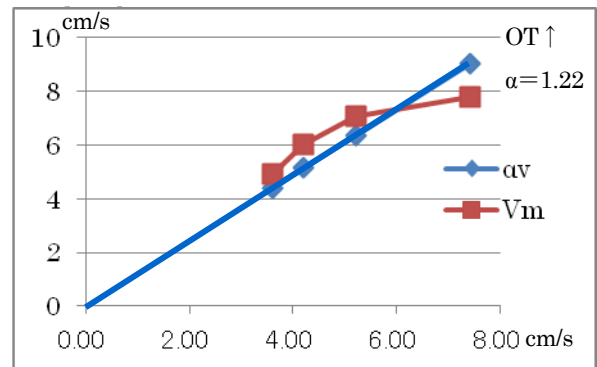


図 5 観察者 OT1 の 100[ms] 固定の αv と測定認知速度 V_m

6. 今後の課題

今回は10[cm]四方の正方形内に一様にランダムに配置されたドットの周期的提示について、↑（上昇）、↓（落下）の運動を意識した場合の測定を行った。

観察者からは、上昇（落下）を意識するのは簡単であるが、比較点との速度比較をしているうちに、例えば斜めの運動等も少し意識に入り込んでしまうこともあるという印象の訴えもあった。

そこで今後の課題として、次のことがあげられる。

- (1) 斜めの運動を意識し錯視を制御した場合の速度の計測、および今回の上昇、落下の場合との比較。
- (2) ランダムな点の位置を、正方形の縦中央付近に多く分布するような確率分布によりランダムな点を描画し、より上昇（落下）を認知しやすい条件で実験を行うこと。そして、今回の結果と比較すること。
- (3) ランダムにドットを描く範囲を変化させて（例えば15[cm]、20[cm]四方の空間等で）の実験と今回の実験結果との比較。
- (4) 各個人で、「上昇認知速度>落下認知速度」かどうかの脳の「くせ」もありそうである。
この「くせ」があるかどうかを明確に結論づけるためのより詳しい実験（特に同一の個人で測定データを増やす）。これは同時に、今回の実験結果の信頼性の保証にもつながるものである。
- (5) 仮現運動の認知に、「Im1の各点 P_i を、Im2の最も近い点 Q_j に移動したものと解釈する」というメカニズムが、どの程度正確に働いているかを調べること。
図4を見ると、ドット数100[個]の場合、認知速度は提示周期にほぼ反比例している。ということは、このメカニズムは、提示周期に依存せずに働く可能性がある。このメカニズムが働く強さと提示周期との関係について調べることも課題としてあげられる。
- (6) 上昇（落下）等の意識による錯視の制御のメカニズムについて調べること。

参考文献

- [1] 内川 恵二, 塩入 諭編, (2007年) “視覚II” 朝倉書店, pp.1-66
- [2] 車田 研一, 山野 真世, 渡辺 伶馬, 大槻 正伸, (2015年) “離散粒子群の流動の視覚印象をとらえる手法の検討” 公益社団法人化学工業会第47回秋季大会, 発表番号K116
- [3] 佐藤 隆夫, (2016年現在 WEB ページ)
“人間の運動視知覚機構”
http://results.atr.jp/atrj/ATRJ_02/16/abstract.cgi
- [4] 田崎 京二他編, (1979年) “視覚情報処理” 朝倉書店, pp.296-343
- [5] D.マー(乾, 安藤訳), (1987年) “ビジョン” 産業図書, pp.174-237
- [6] 回る女性の錯視 (2016年現在 WEB ページ)
<https://www.youtube.com/watch?v=gizW06S7CqY>