

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 II

Virtual Measurement of Perceived Translational Velocity of Periodically Illuminated Random Dots II

大槻 正伸, 大塩 智規, 小泉 康一, 車田 研一[†]

Masanobu Ohtsuki, Tomonori Ohshio, 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

When we see random dots, shown on a screen at some constant time intervals, for example 100[ms] time interval, we feel as if they are falling down with some velocity.

In this paper we proposed an improved method for measuring that virtual velocity by comparing the random dots and the dots which are really falling down on the screen.

The average separation distance between a pair of adjacent dots is seen almost proportionally correlated to the perceived velocity which is measured with this method.

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

1. はじめに

砂糖などの粒子がさらさらと自然に落下している場合、人間は粒状や粉状の物質の流れ、特に流れの速度をどのように認知しているのでしょうか？ そのための基礎的な知見を得るのが本研究の目的である。

速度認知の大雑把な推定としては、ある時刻 t での各粒子と微小時間後 $t+\Delta t$ 時刻での各粒子の位置を、それぞれの粒子を同一視しながら結びつけることを繰り返し行うことにより流れの認知、流れの速度の認知をしているのであろうと考えられる。

それでは、粒子の同一視と結び付けをどのように行うのが問題になる。

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多数ある^{[2][4][7][9]}。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、まるで動くパターン（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等があげられる。

そして、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^{[2][9]}。

しかし、全くの「ランダムドット群の周期的提示刺激（提示する刺激は提示するたびに異なった、ランダムにドットを配置した画像）」に対する運動認知に関する既往の研究は少ないと思われる。

そこで我々は文献[3]で次のような実験を行った。まず、人工的に、コンピュータで全くランダムに点を配置した画像（以下「ランダムドット画像」という、(図1)をある周期（50~200[ms]程度）で提示し、人は運動として認知するのか、またそうであればどのような運動として認知するのか、その認知速度はどのようなになるのか、等について調べた。この実験では、

- ①ランダムドット画像を周期的に提示し、
- ②観察者は「落下(上昇)するように」意識し(そうすると実際に落下(上昇)するように知覚される)
- ③比較物体（図1赤紫色のやや大きな円）を表示し、その比較物体の速度を、観察者がランダムドット画像による認知流れ速度と比較物体の速度が一致したとを感じるまで変化させ、その時の比較物体の速度を計測する。この実験の結果、

- (1) 落下（上昇）認知速度と、「最近点移動平均速度^[3]（後述）」とは強い相関があること、
- (2) しかし認知する速度には相当個人差があること等がわかった^[3]。

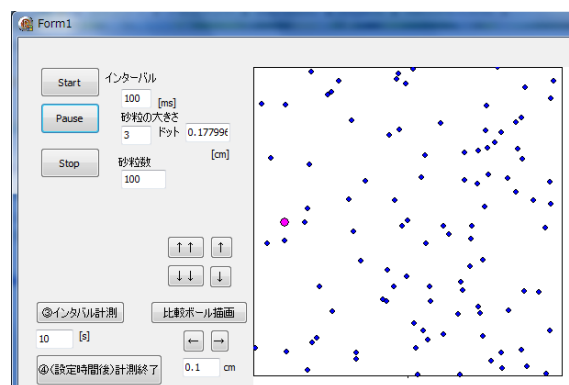


図1 ランダムドット画面の例（文献[3]）

の文献[3]の実験では、ランダムに提示された画面に対し、観察者が「落下（上昇）するように意識する」という動作が入る。

多義図形^[1]や、「回る女性の錯視」^[10]などでもわかるように、人間は比較的簡単に、意識によって運動や状態の認知を変えることが可能である。すなわち、意思による画像の認知内容の制御はしばしば経験される。文献[3]の実験では、この制御を観察者が自ら行うことを要求しているが、その制御された状態が安定して続いていることが保証されるかという問題もあった。また、観察者によっては、「実験中に斜めに流れる運動も時々意識に上る」等の意見も出て、意識制御の曖昧さを含んでいることが否めなかった。

今回の研究では、観察者の「意識制御」をなるべく取り除いた実験を行い、その場合でも同様の結果（上記（1）（2））が得られるのかを確かめた。

この結果本研究によっても（1）（2）を強く支持する結果が得られた。

以下では、新しい実験、その結果と考察について述べる。

2. 知覚速度の測定実験

実験を実施するにあたって、図2のようにディスプレイ上にランダムドット等を表示するプログラムを作成した。このプログラムでは、縦、横10.0[cm]の「表示用正方形」に、ドット（実際は円）を表示するが、その個数や、ドットの半径、提示周期も設定できるようになっている。

例えばドット個数200個、各ドットの半径3ドット、提示周期が100[ms]の場合、まずそのドットの実際の大きさ（直径）をcm単位で表示し（直径6ドットの場合0.15[cm]）、ランダムに200個の点を表示用正方形内にばらまき、それを100[ms]表示し続ける。次に、100[ms]たったところで、プログラムのタイマー機能により、また全く新たな200個のランダムに位置するドットを100[ms]表示する、という動作を繰り返す。

そして今回は、左（プログラムでは左、中央、右が選択できる）の指定された何%か（例えば20%）に位置するドットは、実際にある速度で落下（上昇）させる機能を追加した。この領域を「実落下（上昇）領域」とよぶことにする。そして、その落下（上昇）速度は観察者がマウスを用いて（↑↑ボタン、↓↓ボタンを押すことにより）調整可能とした。なお実際に落下させる場合は、垂直にではなく、この領域内の各ドット

は指定された角度（例えば今回の実験では60度）の範囲でランダムに選び、次の提示周期で落下（上昇）したドットを表示する場合、その角度で落下（上昇）させることとしてある。この場合落下（上昇）速度とはドットの移動の垂直成分の速度とした。したがって、この領域のドットは木の葉が落ちるようにゆらゆらと落下するように見えることになる。

これらにより、図2の場合、最初は全くランダムに200個のドットを配置するが、左20%に位置するドットは、ある速度（最初は0[cm/s]、後には観察者の指示でだんだんと加速させる）で落下（上昇）するのに対し、右80%に位置するドットは提示周期ごとにランダムに配置させるようになっている。この提示周期ごとにランダムにドットを描く領域を「ランダム配置領域」とよぶことにする。この表示プログラムでは、ドット数は、表示正方形内の全ドット数としてある。すなわち、実落下（上昇）領域のドット数と、ランダム配置領域のドット数を合計して指定されたドット数（例えば200個）となるように常に制御されるようにプログラムを設計してある。

さて、実落下（上昇）領域は、ドットが静止していれば、ランダム配置領域と容易に区別がつくが、実落下（上昇）領域のドットの速さが速くなると区別が付きにくくなり、ある程度の速さになると、まったく違和感がなく、全画面がランダムドット領域と同じに感じられるようになることがすぐに体験できる。

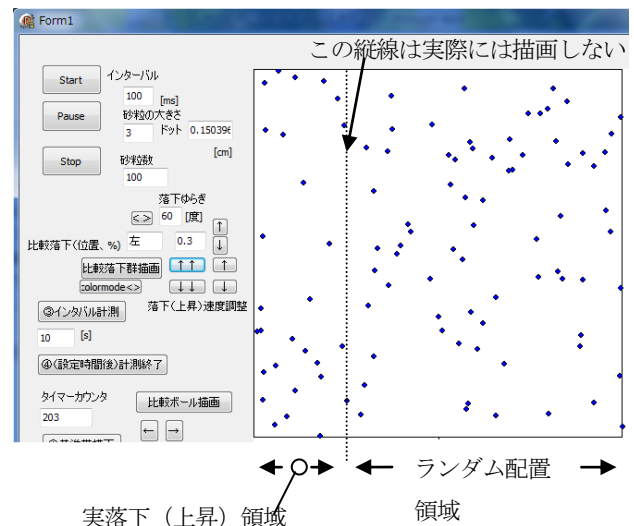


図2 実験画面（何%かは実際に落下（上昇）する）

この表示プログラムを用いて実験は次のように行った。
①ドット数、ドットの大きさ（今回は半径3ドット

→直径 6 ドット=0.15[cm]一定とした), 提示周期, 自由落下 (上昇) 領域の位置 (左, 中央, 右), および割合を設定する.

- ②観察者はディスプレイから 80[cm]離れた位置に, 表示正方形の中心に, 両眼を結んだ直線の中心がくるように頭部を固定する.
- ③一定周期表示を開始する
- ④初めは指定された何%かの実落下 (上昇) 領域のドットは全く静止しており, その他の領域では, ドットが提示周期ごとにランダムに描画される. したがって観察者はその 2 つ領域が明瞭に区別できる.
- ⑤観察者は, マウスを用いてディスプレイ画面上のボタンを押し, 静止していた何%かのドットを実際に落下 (上昇) させ始まる. そして, だんだん落下 (上昇) 速度を大きくしていき, 実落下 (上昇) 領域とランダム配置領域が区別がなくなったら, 区別がなくなかったことを測定者に伝え, そのときの実落下 (上昇) 領域の落下 (上昇) 速度——ディスプレイ上に表示されている——を測定者が読み取る.

これにより, 観察者がランダムに提示されるドットと実際にある速度で落下 (上昇) するドットとの区別がなくなったわけであるから, ランダムに一定周期で提示されるドット群の認知される速さが測定できたと考えられる.

3. 実験結果

今回は, 観察者 A, I, Ow の 3 名, 全ての実験で測定者は 0s の 1 名で測定を行った. ドットは半径 0.15[cm], ドットを提示する全領域は 1 辺 10.0[cm] の正方形とした.

測定結果を図 3, 図 4 に示す. 図 3 は, 提示するドット数を 100 個固定とし, 提示周期を 50[ms], 100[ms], 150[ms], 200[ms] と変化させたときの測定結果である. なお, 「左 20↑」は「実際の上昇領域が正方形の左 20%」, 「左 20↓」は「実際の落下領域が正方形の左 20%」を意味する. 今回は左 20% 固定で実験を行った結果を示す (別のパーセンテージの実落下 (上昇) 領域の実験結果については後述).

図 4 は, 提示する周期を 100[ms] 固定とし, ドット数を 50[個], 100[個], 150[個], 200[個] と変化させたときの測定結果である.

測定結果を見ると, 図 3 では, すなわち, 提示周期を大きくした場合, 認知される速度は小さくなる傾向

が顕著である. 一方, 図 4 の提示周期を一定にしてドット数を変化させた場合は個人によっていろいろな傾向がありそうであることがわかる.

これについては文献[3]の結果も同じであった.

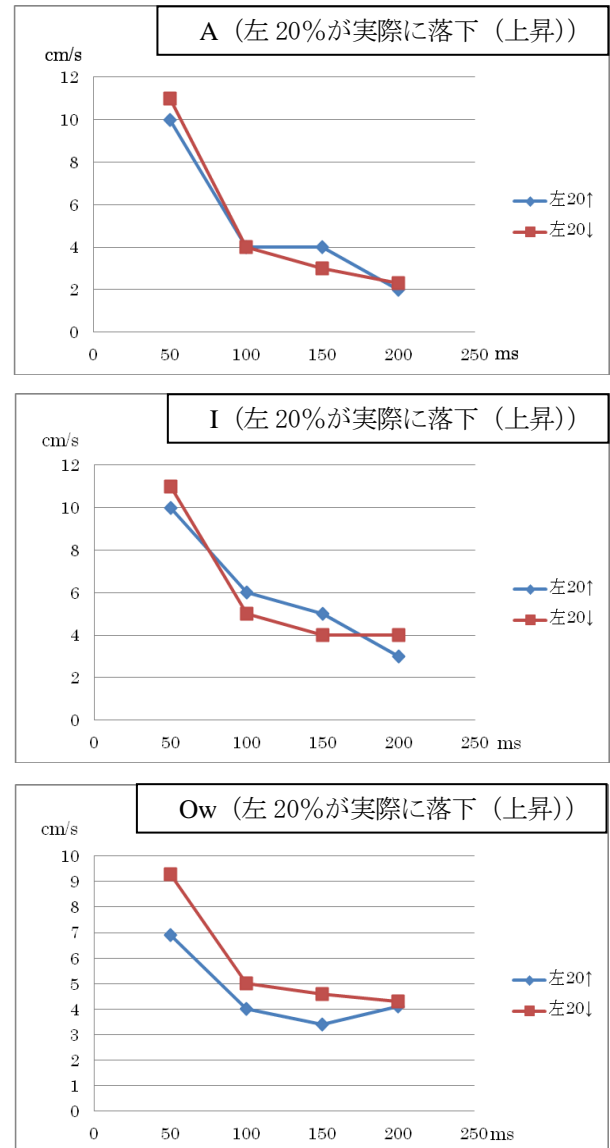


図3 実験結果 (ドット数 100 個固定・提示周期変化)

文献[3]では, 観察者が「ランダムドット画面の周期的提示の刺激に対して意識的に落下 (上昇) と見る」という意識制御を行うが, この意識制御の有無にかかわらず, これらの傾向があることが示されたことになる. 以下で, この結果についてよりくわしく考察する.

4. 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.

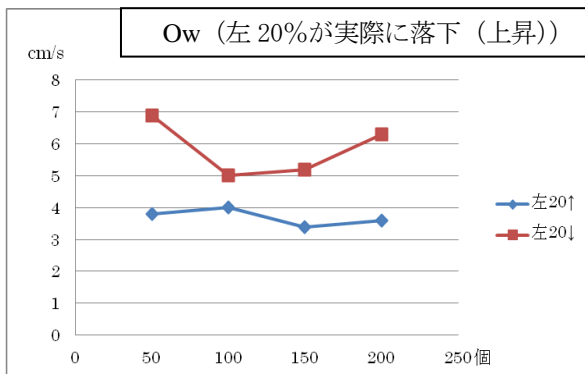
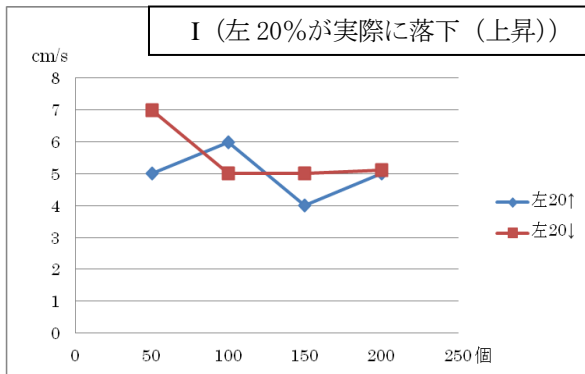
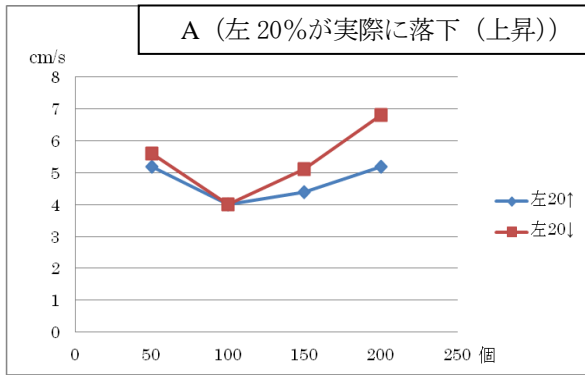


図4 実験結果(提示周期100ms固定・ドット数変化)

Im1 のドットを P_1, P_2, \dots, P_n とし, Im2 のドットを

$$Q_1, Q_2, \dots, Q_n \text{ とし, } d_n = \frac{\sum_{i=1}^n \min_j d(P_i, Q_j)}{n} \text{ と}$$

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、「最近点平均距離」である^[3]。実際に実験で使用した、コンピュータ画面の 10.0[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表 1 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(特に今回の測定と対応するところを(赤字の)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]			
d_n	d_{50}	d_{100}	d_{150}	d_{200}	
T					
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	2.4	
200[ms]	3.7	2.6	2.1	1.8	

この最近点移動平均速度と, 認知速度の関係を見てみる。

各観察者ごとに, 「左 20 ↑」「左 20 ↓」について, 実測したデータで(すなわち, 表 2 の赤字太文字の「最近点移動平均速度」に対する認知速度の)相関係数を計算したところ表 3 のようになり高い相関がみられた。

表 3 最近点移動平均速度と認知速度との相関係数

観察者	左 20 ↑	左 20 ↓
A	0.89	0.83
I	0.87	0.97
Ow	0.82	0.92

次に観察者 A について, 最近点移動平均速度と認知速

度の関係を図5のグラフに示す。なお、図5のグラフには回帰直線 $y=ax$ も示してある。他の観察者も同様であるので今回は省略する。

この回帰直線 $y=ax$ の傾き $a(a(\uparrow)$ と $a(\downarrow)$ ——比較対象が上昇としたときの認知と落下としたときの認知の回帰直線の傾き) が個人の「ランダムドット表示に対する速度認知機能」の特徴を示す量となり得ることが示唆されたと考えられる。

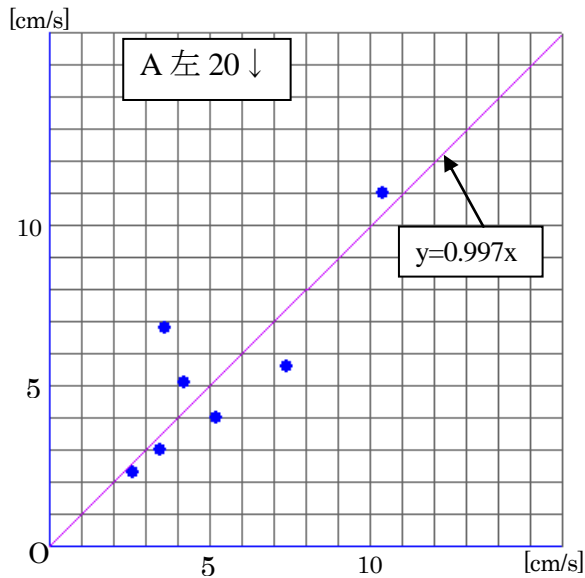
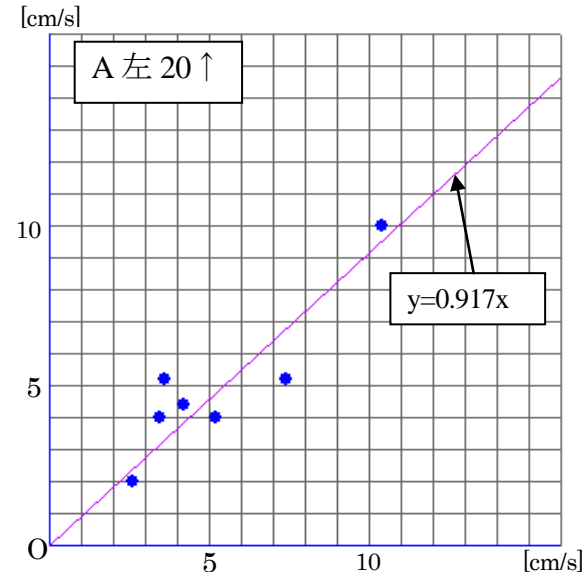


図5 観察者 A の、最近点移動平均速度 (横軸) と認知速度 (縦軸) の関係 (実落下 (上昇) 領域=左 20%)

ただし、これまでの解析は「実落下 (上昇) 領域」を全て 20%とした測定結果である。この領域を左 60%としたときも測定してみた。観察者 A の図5と同様のグラフを図6に示す。

これで分るように、実落下 (上昇) 領域も大きくするとかなり認知落下速度に影響を与え得る。観察者によっては、これほど顕著に実落下 (上昇) 領域 20%と 60%での差がそれほど出ない場合もあるが (実際観察者 I は観察者 A 同様 60%の方が速く感じ、観察者 O_w はあまり変わらないという結果であった)、この観察者 A のように、実落下 (上昇) 領域が大きくなると速く感じる個人もいるということが分かった。

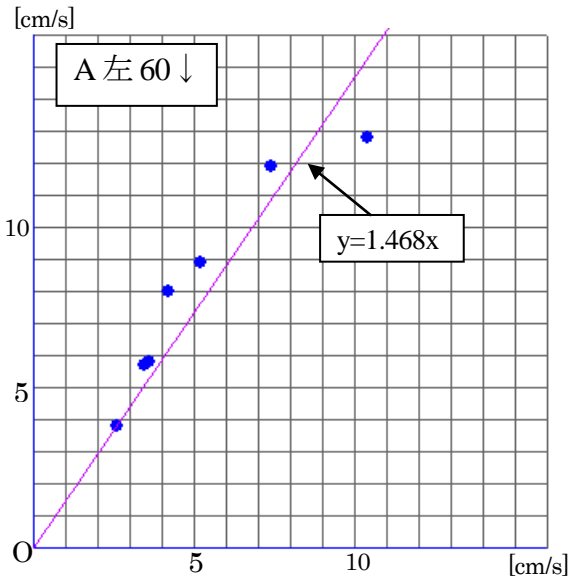
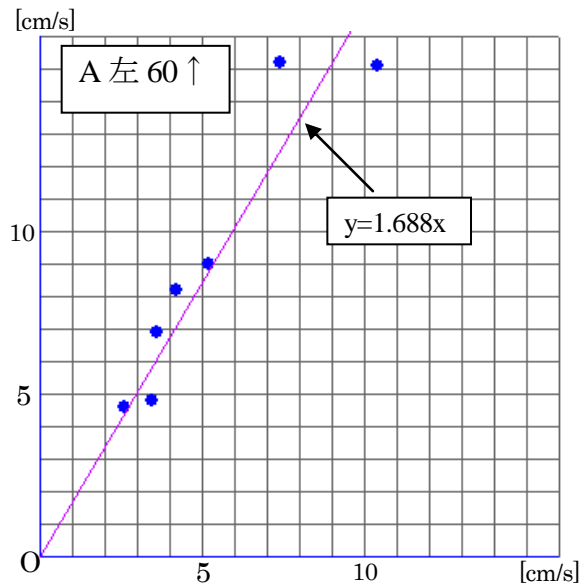


図6 観察者 A の、最近点移動平均速度 (横軸) と認知速度 (縦軸) の関係 (実落下 (上昇) 領域=左 60%)

5. 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) の運動を意識しない場合の測定を行った。

これは前述のように、文献[3]の実験で観察者から、「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ため、新しい方法により、認知速度を測定した。その結果[3]と同様に、最近点移動平均速度と認知速度には強い相関があることが示された。ただし、実落下（上昇）領域の大きさにも認知速度が影響されそうであることも分かったところである。

そこで今後の課題として、次のことがあげられる。

- (1) 実落下（上昇）領域を、例えば「左 40%」「中央 20%」「右 20%」等々いくつか設定して、実落下（上昇）領域と、認知速度の関係を明確にすること
- (2) 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。
- (3) 今回は、実落下（上昇）領域のドットは、60 度の角度の中でランダムに選択し、全体がゆらゆらと落下するようにしたが、このゆらぎの角度の変化と認知速度の関係を調べること。
- (4) 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] 新井 仁之, <錯視>だまされる脳 (2016 年), ミネルヴァ書房, pp20-21
- [2] 内川 恵二, 塩入 諭編, (2007 年) “視覚Ⅱ” 朝倉書店, pp.1-66
- [3] 大槻 正伸, 遠藤 佑哉, 蛭田 一希, 小泉 康一, 車田 研一 (2016 年) 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, 日本認知科学会第 33 回大会発表論文集, pp694-699
- [4] 加藤 知佳子, 仮現運動におけるフレーム数の効果について (1995 年) The Bulletin of Toyohashi Junior College, No. 12, 163-173
- [5] 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
- [6] 佐藤 隆夫, 人間の視覚はどのように運動をとらえているか? (1994 年), テレビジョン学会誌 Vol. 48, No. 2, pp. 157-163
- [7] 田崎 京二他編, (1979 年) “視覚情報処理” 朝倉書店, pp.296-343
- [8] 西田真也, (1995 年) 運動視研究の最近の動向, ビジョン, Vol.7, pp.1-7
- [9] D.マー (乾, 安藤訳), (1987 年) “ビジョン” 産業図書, pp.174-237

- [10] 回る女性の錯視 (2017 年現在 WEB ページ)
<https://www.youtube.com/watch?v=gjzW06S7CqY>