

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

大槻 正伸, 小泉 康一, 大塩 智規[†]
Masanobu Ohtsuki, Koichi Koizumi, Tomonori Ohshio

[†]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 many random dots and really moving dots that are shown at some constant time intervals, we can recognize the real movement on some conditions, and we cannot do that on other conditions.

In this paper we research what conditions on really moving dots and random dots permits us to recognize the real movement, by presenting an observer the images in which random dots and really moving dots are displayed.

As the number of total dots, the rate of random dots, and the velocity of really moving dots becomes larger, it becomes harder to recognize the real movement.

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

1. はじめに

砂糖や砂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文献[3][4][6]そして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、この「粒子の同一視と結び付け」をどのように行うのか、またその結び付けの人間の能力はどの程度正確なのか問題になる。これらの疑問に答えるために、我々は、「一定周期（例えば 100[ms]）ごとに表示される毎回ランダムに配置した点を見ていると、人間は、それを一定方向に流れる粒子群と認知する」という錯視現象に着目している。

そして文献[3][4]では、次のような実験を行った。まず一定周期ごとに、毎回ランダムな点を表示枠（10[cm]四方の正方形）内のある領域に表示する。また、同時に実際にある速度で落下（or 上昇）する比較対象の 1 つのドット（文献[3]）、あるいはドット群（文献[4]）を、ラ

ンダムドット表示群の隣の領域に表示する

（図 1—図は文献[4]の実験）。そうして、実際に落下（上昇）するドット群（実運動ドット（群）とよぶ）の速度を上げていき、観察者がランダムドット群により認知されるドットの流れの運動速度と、実運動ドット群の速度が一致したとき、すなわち、両者の区別がつかなくなったとき、この実運動落下群の速度を「ランダムドット群により認知される流れの速度」とみなし、これによりランダムドット群の認知速度を計測した。

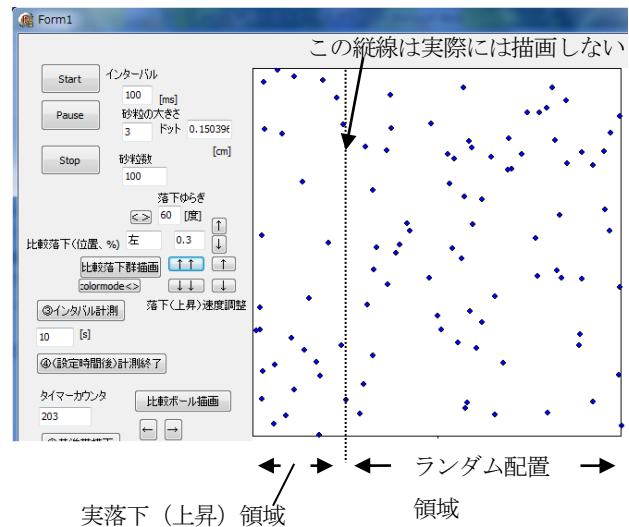


図 1 ランダムドット画面の例（文献[4]）

この実験の結果、

- (1) ランダムドット群の落下（上昇）認知速度と、「ランダムドット群の最近点移動平均速度」^[3]とは強い相関があること、
- (2) 認知速度には相当個人差があること
- (3) 図 1 の場合^[4]、実落下（上昇）領域の大きさも、ランダムドット群の落下（上昇）認知速度に影響すること
等がわかった。

本論文では、より一般的に、どのようなランダムドット群の条件（ランダムドットの密度（一定枠内のドット数——それは最近点移動平均距離に関係している）、実運動ドット群の割合、速度等）で、実運動ドット群とランダムドット群の区別がつかなくなるのか、すなわち、実運動ドット群を認知できなくなるのかについて調べることにした。これは、どのような条件で、実運動ドット群の同一視と結び付けが、ランダムドット群に乱され機能しなくなるのかを調べることになる。

さて、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][5][7][8][9][10]}。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]}。

また、特にはじめランダムに配置したドットを、一部一定方向、一部をランダムな方向に実際に移動する画像による、一定方向運動の認識の研究がある^[2]が、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従来の研究は少ないと思われる。

そこで、我々の研究は、砂粒などの粒子の流れを認識するための「粒子の同一視と結び付け」の機能を、ランダムドットという、本来粒子同士が位置的に結びついていない粒子群の周期的提示により明らかにしようとするものである。特に今回は「実運動ドット群の結び付けと認知」がランダムなドットによってかき乱され、認知できなくなる条件を調べることになる。

2. 実験方法

今回は、図2のような画面を用いて実験を行った。

図の中央が表示される画面全体で、3か所拡大したものの(A)(B)(C)が示されている。

図2では、一辺15[cm]の正方形の枠に $dn=150$ 個のドットを、100[ms]に一回、毎回確率的に独立にランダム

に位置を選び表示しているところである。ドット数、提示周期等は、図2(A)から設定可能としてある。

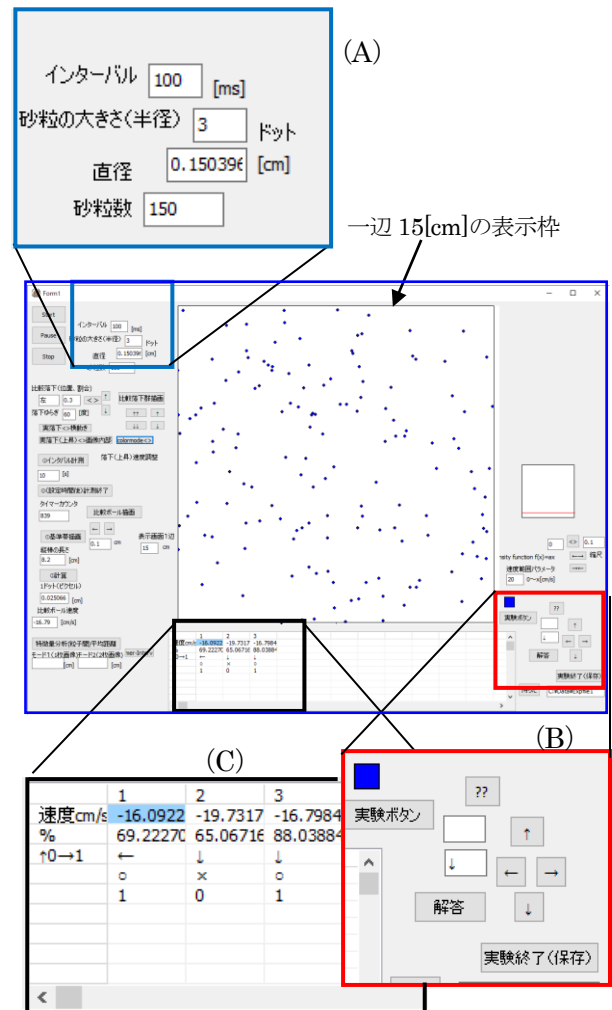


図2 実験画面

この dn 個のドットのうち、ある割合 α のドットは実際に左右上下のいずれかの方向に速度 v で動くものとしてあり、残りの $(1-\alpha)$ の割合のドットは、まったくランダムに表示枠の中に表示される (α はランダムに区間 $[0,1]$ から選ばれ、速度 v は $0\sim 20$ [cm/s]からランダムに選ばれる)。

観察者は、上下左右のある一つの方向に実際に動くドット（実運動ドット）と、ランダムに描かれるドットが入り混じった画面を見ることとなる。

実験は次のような手順で行った。

- ①観察者は、ディスプレイ画面から60[cm]離れたところに、表示画面（15[cm]×15[cm]の正方形）を正面に見るように顔を固定する。ただしキーボード、マウスは操作できる状態とする。
- ②図2を表示するプログラムを実行し、各定数・ドット数、

- ・表示周期 (今回は 100[ms]固定とした) ,
- ・ドットの大きさ(今回は3ピクセル=直径0.150[cm]固定とした)

を入力する。

- ③観察者は、マウス操作により、(B)の「実験ボタン」を押す。
- ④実運動ドット割合 α , その運動方向 (左右上下), 速度 (v) がランダムに選ばれ, それにしたがって, ドット群が周期的に表示される。
- ⑤観察者は, 実運動ドット群の運動方向を推定し, 画面 (B) から「 $\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow$ 」ボタンで, その方向を選択する。なお, 方向が分からず (自信がなく), 勘で方向を選んだ場合は「??」ボタンを押すこととした。
- ⑥これで1試行が終了する。

プログラムにより, 今の試行の正解/不正解が表示される。それは図2(C)のStringGrid (表) に,

- ・速度 v (値は, 上方向 \uparrow と右方向 \rightarrow を正 (+), 下方向 \downarrow と左方向 \leftarrow を負 (-)としてある),
- ・実運動ドット割合 α ,
- ・実運動ドットの運動方向 ($\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow$),
- ・正解 (○) / 不正解 (×)
- ・正解/不正解種類

(この「数 (◎)」等は次の意味である)

- 0 (×) : 自信があったが (i.e. 「??」が押されずに) 不正解,
- 1 (◎) : 自信があつて正解,
- 3 (○) : 自信がなく (「??」が押されて) 正解
- 4 (△) : 自信がなく不正解

が表示される。

- ⑦観察者は③~⑥の試行実験を繰り返す。
- ⑧定められた回数試行実験を行ったら, 観察者は (B) の「実験終了 (保存)」ボタンを押す。これで今までの実験結果がテキストファイル形式で保存される。

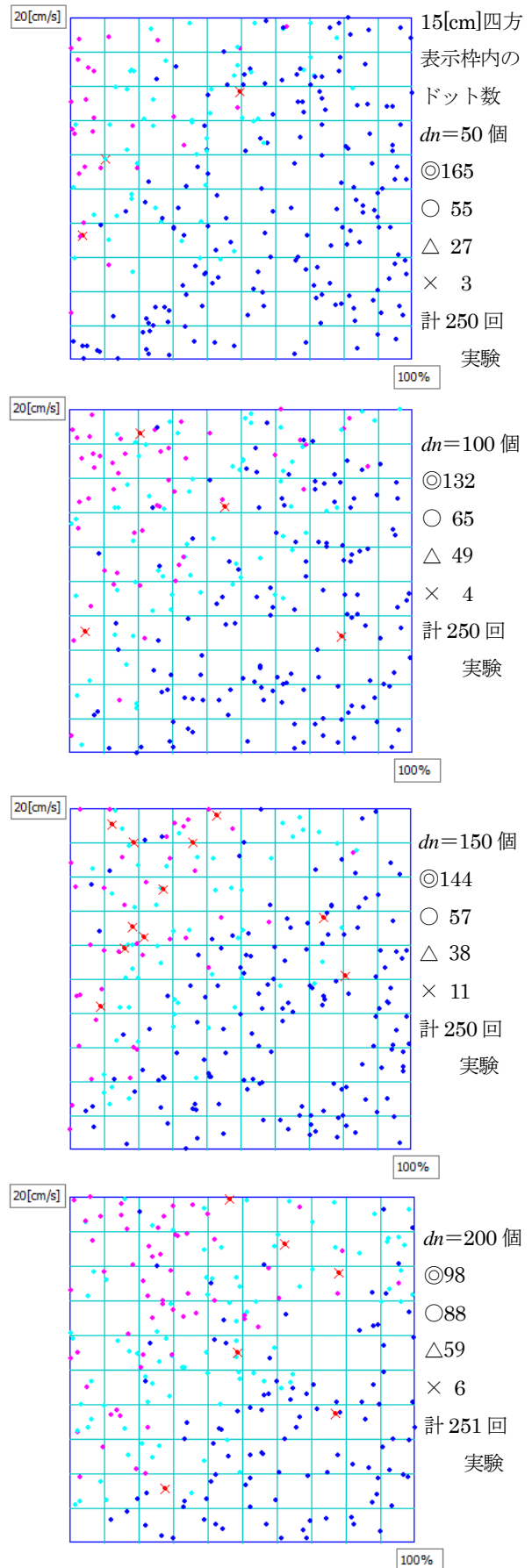
図2の例では, 試行実験が3回行われ, 1回めは, 「実運動ドット群の速度が左方向 (\leftarrow) 約 16.1[cm/s], 割合が 69.2%, 観察者は正解した (○), 上記 0, 1, 3, 4 分類では1であったこと等を示している。

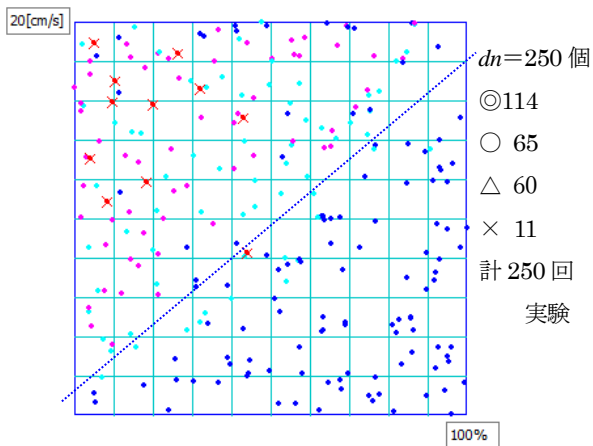
3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

実験結果は次の図3のとおりとなった。図3では, 横軸に実運動ドット群の割合 α , 縦軸に実運動ドット群

の速度 v をとり, そのときの観察者の正解/不正解を, 上記 0, 1, 3, 4 にしたがって色分けして表示してある。





横軸：実運動ドット割合 (α) ,
縦軸：実運動ドット速度 (v)

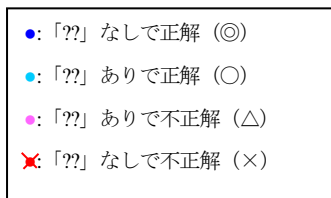


図3 実験結果

なお、15[cm]×15[cm]の表示枠に配置するドット数(実運動ドットと、ランダム配置ドットを合わせた数) dn を $dn=50,100,150,200,250$ と変化させて実験を行っている。それぞれのドット数について250回(一部251回)ランダムに(α, v)を選び実験を行った。

3.2 考察1

この実験結果を見ると、次の傾向が見て取れる。

- (1) 実運動ドット群の割合 α が小さいと実運動ドット群の動きを認知しにくくなる。
- (2) 実運動ドット群の速度 v が速くなると、実運動ドット群の動きを認知しにくくなる。
- (3) 表示枠に表示するドット数 dn が大きくなると、実運動ドット群の動きを認知しにくくなる。
- (4) ランダムドット群の周期提示により認知されるランダムドット群の速度は、比較する実運動ドット群 α の割合が多くなると速く感じられる傾向がある。

そして全体のドット数 dn が多いほどランダムドット群の認知速度は小さくなる傾向にある。

- (5) 「自信がない」「分からない」場合(観察者が「??

ボタンを押した場合)でも、相当正解を出す能力がある。

ここで(1)、(2)は、ある意味自然であると考えられる。実運動ドット群が、多数ゆっくりと動いていればその動きを認識することが容易であることは当然であろう。

(3)についても、次のように考えればこれは自然な傾向である。

実運動ドット群の動きを認識する際に、ある点 P の時刻 t での位置を $P(t)$ 、微小時間 Δt 後のこの点の位置を $P(t+\Delta t)$ とすると、人間は $P(t)$ と $P(t+\Delta t)$ を、「これは同じ点である」と同一視し、この同一視を各ドットに対して行い、全体のドットの動きを認識していると考えられる。

このとき、枠内のドット数が多くなるということは、各実運動ドットの $P(t)$ や $P(t+\Delta t)$ の近傍にランダム表示されるドット数も多くなることを意味する。これは当然ながら、 $P(t)$ と $P(t+\Delta t)$ の同一視過程を乱すことになる。したがって、(3)も自然であると考えられる。

次に(4)について考察する。文献[4]で図1の画面でランダムドットを一定周期で表示する際のランダムドット群に対する認知速度であるが、前述(本論文1節)の通り、

「(3)図1の場合、実際に落下(上昇)する領域の大きさも、ランダムドット群の落下(上昇)認知速度に影響する」^[4] また「実落下(上昇)領域が大きくなると速く感じる個人もいる」^[4] ことが示されていた。この傾向も今回の実験でかなりの程度明らかになった。

すなわち、「ランダムドット群の周期提示によるランダムドット群の認知速度」は、自然に「ランダムに表示されるドット群と、実運動ドット群の速度が区別できなくなる条件での、実運動ドット群の速度」と考えられるから、図3($dn=250$)で見ると、おおよそ右上がりの破線のところが、「区別できなくなる条件」といえる(観察者が速度認知に自信が持てなくなったところ)。これより、上記文献[4]で示されていることが、今回の観察者でも成り立つことが示されたことになる。

また、文献[3][4]でも指摘されているが、ランダムなドットの数が多くなるほど($dn=50,100,150,200,250$ となるにつれて)、同一視される点が近くに表示されるため、ランダムドット群の認知速度は小さくなる傾向があるも今回の実験から確認できる。

- (5) についての考察は今後の課題である。

3.3 考察2

今回の全データ (1251 データ) を $(v_k, \alpha_k, dn_k, y_k)$ ($k=1,2,\dots,1251$, k は試行番号) として, 統計的に解析してみる.

ここで,

v_k : 実運動ドットの速度 (0~20[cm/s])

α_k : 実運動ドットの割合 (0~1)

dn_k : 表示ドット数 (50,100,150,200,250)

y_k : 正解しやすさの点数

である. y_k はいろいろ考えられるが, 今回は

- 0: ((「??」なし) 自信あり) 不正解 (×) を $y_k=0$ 点,
- 1: ((「??」なし) 自信あり) 正解 (◎) を $y_k=100$ 点,
- 3: ((「??」あり) 自信なく) 正解 (○) を $y_k=50$ 点
- 4: ((「??」あり) 自信なく) 不正解 (△) を $y_k=0$ 点とした.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & v_1 & \alpha_1 & dn_1 \\ 1 & v_2 & \alpha_2 & dn_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & v_m & \alpha_m & dn_m \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (m=1251)$$

として, $y=f(\alpha, v, dn)=a_0+a_1\alpha+a_2 v+a_3dn$ で正解しやすさ, すなわち認知しやすさ (y が大きい方が実運動ドット群の運動を認知しやすいと考える) を 3 変数の線形関数 f で近似的に表すことを仮定し重回帰分析を行った. $A=[a_0, a_1, a_2, a_3]^T=(X^T X)^{-1}(X^T Y)$ ($[^T]$ は転置行列) により A を求めたところ,

$A=[43.21, 72.33, -0.065, -0.087]^T$ であった.

A の成分の符号から, 実運動ドットの割合 α が小さくなると, また実運動ドットの速度 v が大きくなると, そして表示ドット数 dn が大きくなると, 実運動が認知されにくいことが f の特徴として表れている (→3.2).

この回帰分析結果を視覚的に表現したのが図 4 である. 図 4 は図 3 に対応して回帰分析の結果 (上記 3 変数関数 f) の値) を色表現したものである. ただし, 実運動ドット速度 v に関しては, $a_2 = -0.065$ と小さいため, α が一定の場合 f の値の変化が少なく, その差が見えにくいため 縦軸を 1/20 倍に縮小して強調して表現している. この視覚化したグラフにより, 実運動の認知しやすさが, 確かに, 「 α : 小さいほど, v : 大きいほど, dn : 大きいほど」実運動が認知しにくくなっていることが視覚的に見て取れる.

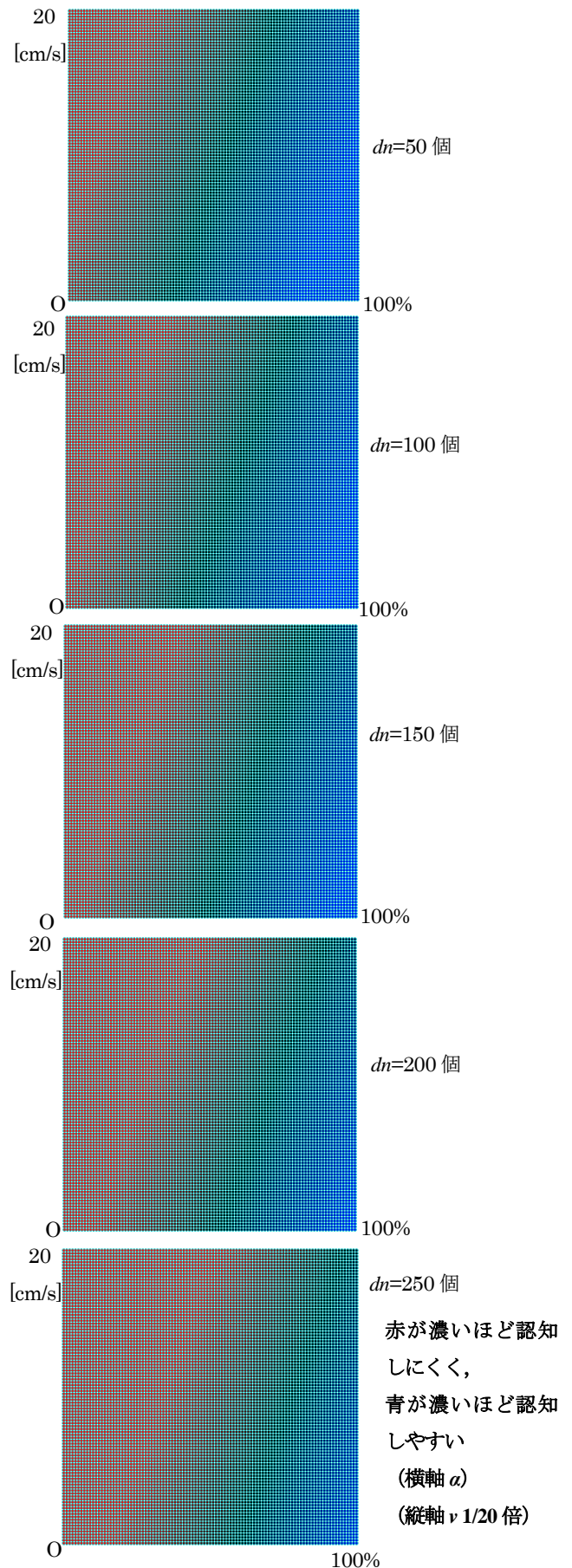


図 4 実運動の認知しやすさ関数 $f(\alpha, v, dn)$ の視覚化

このベクトル A が、個人の「ランダムドットの周期的な提示による運動認知能力を特徴づけるパラメータ」になると考えられる。

4. 今後の課題

今後の課題として、次のことがあげられる。

- (1) 今回の実験は観察者が一人のみであった。
被験者数を増やして、今回と同じ実験を行い個人差がどの程度あるかを調べること。
- (2) 特に複数人の被験者で今回同様の統計解析を行い、上記ベクトル A により個人の特徴づけを行うこと。
- (3) 文献[3][4]の実験結果と、今後の実験結果の関係を明らかにすること。(今後の実験から推定される「ランダムドット群の周期提示によるランダムドット群に対する認知速度」と、文献[3][4]の実験による認知速度が一致するか、相関があるか等々について調べること)
- (4) ランダムドット群の周期提示刺激に対して、人間と同じように運動認知をするコンピュータアルゴリズムを構築すること。
- (5) ランダムドットの周期提示刺激に対して、人間と同じように運動認知能力を獲得する学習モデルを構築すること。
- (6) 前節 (3.2 節) (5) について考察すること。

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] 大槻 正伸, 大塩 智規, 小泉 康一, 車田 研一 (2017 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 II, 日本認知科学会第 34 回大会発表論文集 pp. 1051-1056
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 田崎 京二他編, (1979 年) “視覚情報処理” 朝倉書店, pp.296-343
- [9] 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
- [10] D.マー (乾,安藤訳), (1987 年) “ビジョン” 産業図書, pp.174-237