

多物体追跡システムの考え方をを用いた認知能力向上アプリケーション (MOT: モート) の開発

Development of cognitive ability improvement application (MOT called mouto) using the concept of multiple object tracking system

スポーツ科学センター

天野 勝弘

AMANO, Katsuhiko

Institute of Sports Sciences

International Pacific University

愛知大学名古屋体育学研究室

滝沢 宏人

TAKIZAWA, Hiroto

Research Center of Physical Education,

Aichi University-Nagoya

昭和大学スポーツ運動科学研究所

渡邊 奈々

WATANABE, Nana

Showa University Research

Institute for Sport and Exercise Sciences

体育学部体育学科

三浦 孝仁

MIURA, Koji

Department of Physical Education

Faculty of Physical Education

要旨: 多物体追跡システム (Multiple Object Tracking) の概念を基に認知能力向上アプリケーション (以後アプリと略す) を開発した。名称はMOT (モートと発音) という。多物体追跡システムによる認知能力向上アプリはNeurotracker (以後NTと称す) という先行アプリがあり、多くのエビデンスを有している。そこで、MOTを同じ技術で作ることにより、それらのエビデンスをある程度踏襲できると考えた。NTスコアとMOTスコアとの相関は $r=0.72$ と高く、MOTスコアはNTスコアを反映すると考えられる。また、スコアの再現性はMOTで高く、NTで低い結果となり、MOTのアルゴリズムの有意性の可能性を示唆する結果となった。今後はMOTにおいて、パフォーマンスへの転移効果を調べる必要があると考える。

キーワード: 多物体追跡システム, 認知能力向上, アプリケーション, 日本版の開発, 再現性

1. 多物体追跡システム

本研究で提案する認知能力を向上させるために開発されたアプリケーション (以後アプリと称す) は、多物体追跡システム (Multiple Object Tracking: 以後MOTと称す) の概念を基に設計されている。

ただし、MOTは2つの視点を持っている。1つは、本研究の概念であるPylyshyn, Z. W.とStorm, R. W. (1988) により提唱されたFINST (fingers of instantiationの短縮形) モデルである。これは、ビジュアルインデックス理論とも呼ばれている。FINST理論とは、視野内の少数のアイテム (通常は4つ程度) をインデックス付けするもので、つまり分離しているという先入観のメカニズムを前提とした視覚的注意の理論である。これにより、高次の認知機能からアクセスできるようになる。例えば、眼前で動く複数の

物体のいくつかを群化することにより、情報のまとめ込みができ、追跡成績が向上するのである。3つの物体を群化した場合、物体間の距離や、移動方向の共通性は成績に影響するが、三角形 (3つの群化の形状) が回転しながらの移動では結果に影響しない。また、追跡しない物体 (妨害物体と呼ばれる) のまとめ込みも成績に影響する。さらに追従条件では、アイテム間の距離が長い場合には追跡成績が低下したことから、空間的な位置関係、近接性に加え、軌跡の共有という情報のまとめ込みが起こる可能性も示唆された。

もう1つのMOTの概念は、主に産業界で導入されているもので、動画内の複数の物体を追跡する技術である。FairMOT (Lee et al., 2021; Wang, G., 2021) やSort, DeepSort (Ren, S., 2017; Yadav, S., 2022) などの技術がある。対象は人や自動車など様々である。動画とオブジェクトが与えられたとき、動画内の対象オ

プロジェクトの位置を特定しながら、移動する個別のオブジェクトを追跡するものである。下記の動画はその一例を示している。

<https://www.youtube.com/watch?v=SKXk6uB8348&t=10s>

スポーツ科学の分野でも、動画解析に用いられているレファレンスポイントの自動追尾システムと同じ技術である。

2. 多物体追跡システムの認知能力向上への応用 —Neurotracker（以後NTと称す）について—

（1）NTの開発者とエビデンス

Faubert, J. (2012) は、MOT技術をもちいた一般に普及させるタイプの認知能力向上アプリを世界で始めて開発した。Faubert, J.が行ったNTに関する研究は文献末尾にその一覧を掲載する（誌面の関係上doi番号のみを記す）。NTのトレーニングにより、スポーツパフォーマンスの向上（Benoit, J. et al., 2020; Romeas, T. et al., 2016; 滝沢他, 2022）、高齢者の認知機能の向上（Assed, M. M. et al., 2016）、特に運転技能への効果（Michaels, J. et al., 2022）が報告されている。また、認知能力の評価にも用いられ、レジスタンストレーニングが空間認知能力を向上させるという評価（Fragala, MS, et al., 2014）、野球選手の年齢による能力差の評価（Tremblay, M., et al., 2022）の報告がある。さらに、NTは動的視力とは異なり認知能力を反映しているという報告もある（Mangine, G. T., et al., 2014）。またわれわれは、新体操選手にNTトレーニングを行うことで、パフォーマンスへの転移効果を認めた（渡邊と天野, 2018; 渡邊他, 2018; 渡邊, 2018; 渡邊と天野, 2018; 渡邊他, 2018）。

子どもの学習能力の改善、発達障害への効果なども報告されている（付録1）。

NTは欧米の一流スポーツチーム、アメリカ空軍・警察などでも利用されている（付録2）。

また、北米では数千人の一般市民が利用していると言われている（正確な数は非公開）。

（2）NTの特長

（a）複数物体の追跡

物体の「衝突」、「跳ね返り」、「交差」が生まれることにより難易度が増す。

（b）広い視野での注意力向上

（c）限界速度（どの速度まで物体を追跡できるか）

を確立する

（d）両眼立体視（奥行き）で行う

「網膜視差」および「運動視差」が養われる。

また、NTは分離の原則と過負荷の原則というトレーニングの原則に則って設計されている。

（3）NTの仕組み

NTはインターネットに接続した状態でアプリを利用するシステムである。したがってインターネット環境は必須である。商用であるので利用料が必要であり、これは月単位のサブスクリプション制となっている。

NTはコンピューターから出力された3次元画像に基づいてトレーニングされる。被検者は3次元を認識するためのメガネをかける。モニター上には複数の物体が表示される（4～8個）。そのうちのいくつかが約2秒間ハイライトされ、再びもとに戻る。被検者にはハイライトされた物体を認識しておくことが要求される。その後、物体は一定時間（4～8秒）、ある速度で3次元空間内を動く。物体が停止すると物体に番号が振られるので、被検者は最初にハイライトされた物体の番号を答える。すべての物体を認識すると正解となり、次のタスクでは移動速度が増す。不正解だと逆に速度は低下する。このタスクを20回行くと被検者の限界速度＝スコアが提示される。20回のタスクを1セッションと呼ぶ。物体の個数、移動時間、初期速度は被検者の現状レベルに応じて自動的に設定される。

トレーニングは、1日2～3セッション、週2～3日の頻度が推奨されている。通常1～3ヶ月間で効果が見込まれる。この点に関してはわれわれも検証を行っている（滝沢ら, 2022）。

3. MOT（固有名詞）の開発経緯

MOT（モートと発音）は、Multiple Object Trackingの頭文字を取って命名された新たに開発されたアプリの名称である。文字通り、MOTは多物体追跡システムの技術を用いている。したがって、見かけ上はNTと類似している。

MOTを開発する目的は、次章のMOTの特徴およびNTとの違いで詳しく述べるが、NTよりも簡易的構造にして、日本語表記を用い、多物体追跡システムによる認知能力向上システムをより日本で普及させることにあった。そのために、われわれが長年NTを用いて多物体追跡システムの特徴を研究してきたノウハウ

を活かし、NTが認知能力向上に寄与するという研究成果も活かし、NTのライセンスに抵触しないことを慎重に確認し、制作に取りかかった。プログラム制作期間は約6ヶ月、完成は2022年6月であった。プログラム制作は専門のプログラマーに委ねた。

4. MOTの特徴

先にも述べたようにMOTの第一の特徴は、多物体追跡システムの技術を用いた認知能力向上アプリということである。

そこで先行しているNTとの比較をすることでMOTの特徴を示すことにする。

NTが3次元なのに対し、MOTは2次元空間でのタスクである。その理由は、一つ目に簡易性を求めたからである。3次元では専用のメガネをかけなければならず、少なからず面倒である。特に眼鏡をつけている人には不向きな仕様である。二つ目はパテントの問題である。NTは日本においても複数の特許を有している。そのすべてが3次元システムに絡むものであり、特に専用の3次元を作り出す装置を用いるとなっている。MOTの2次元（疑似3次元）仕様および専用の装置を用いない仕様は、これらの特許からははずれる（弁理士に確認済み）。

次に、画面に表れる物体の数、認識する物体の数、物体の移動時間、1セッション数などの各種条件がNTではアプリケーションが自動で行い、利用者側では設定できない。NTも以前はstandaloneでサービスを提供していて、その時には変更は可能であった。MOTでは利用者が設定する仕様になっている。ただし設定は保持されるため、トレーニングの都度に変更する手間はない。必要に応じて変更できる。

MOTでは成否における速度増減のアルゴリズムを変更した。正確に言えばNTのアルゴリズムは公開されていないので独自に設定した。その場合、NTの不備と思われる点を修正した。

また、1セッション終了後に評価＝スコア算出のアルゴリズムも独自に設定した。この場合も、NTの不備と思われる点を修正した。

次に、NTでは1アカウントにつき1人の利用となっているが、MOTでは複数人の設定が可能とし、使い勝手を向上させている。

最後に、全体として必要最小限の機能のみを搭載してシンプル化した。NTでは様々な機能がついているが、英語に精通していないとなかなか使いこなせない。

い。これまでの履歴はNT同様、利用者毎の保存、閲覧できるようになっている。

表1に、これらをまとめたものを掲載した。MOTのデモ動画を下記に掲載した。

<https://youtu.be/5qcCnPQMgD4>

表1 NTとMOTとの仕様の違い

	Neurotracker	MOT
次元	3次元	2次元(疑似3次元)
条件設定	自動	手動
		物体数:4~12個 2個ごと
		認識する物体数 物体数の半分まで
		移動時間:4~10秒 1秒単位
速度増減のアルゴリズム		1セッションの回数 10、15、20
評価算出のアルゴリズム		変更
利用人数	1アカウント1人	複数人の設定が可能
機能性	多機能(英語)	必要最小限の機能

5. ニューロトラッカーとの比較

データ収集にあたり、日本体育大学における倫理審査委員会の審査を受け、承認を得た後に調査を実施した（承認番号：第021-H115号）。

MOTとNTはともに、多物体追跡技術を用いているので、認知能力向上において同じような効果が見込まれる。いいかえれば、NTのエビデンスを踏襲できると考えられる。もちろん、確固たる論証はMOTによって証明されなければならない。それはこれからの研究課題となる。しかしながら、現時点で両者がどのように関係するかを検証する意味はあると思われる。

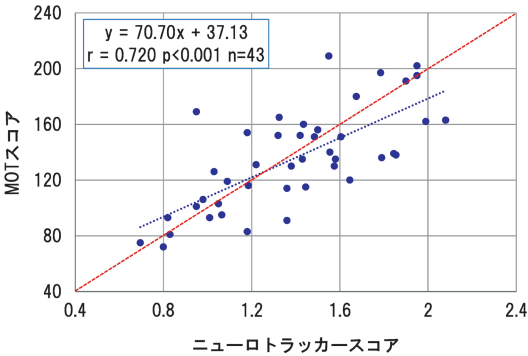


図1 NTスコアとMOTスコアとの関係

そこで本章では、MOTのスコアとNTのスコアとの関係を示すことにする。

図1は大学1～4年生43名にNTおよびMOTを1セッションずつ行ってもらいスコアを求め、両者の関係を示したものである。

両者には $r=0.720$, $p<0.001$ という高い正の相関が認められた。すなわちMOTのスコアはNTのスコアを反映しているといえる。

次に8名の大学生に、NTとMOTを2セッションずつ行ってもらった結果を図2に示す。NTとMOTの測定の間には5分の休憩を入れた。図は2セッションの差が割合(%)で示されている。NTは $32.1 \pm 28.6\%$ の差となり、MOTは $5.8\% \pm 4.8\%$ となった。有意差検定(t検定)を行ったところ、NTの方が有意に($p<0.01$)2セッション間に差があることになった。これは認知機能がごく短時間でも変化することを示しているのだろうか。われわれはこれまでNTで多くの

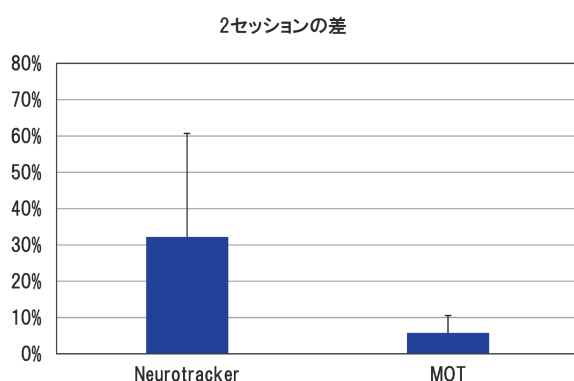


図2 NTとMOTの2セッションの差

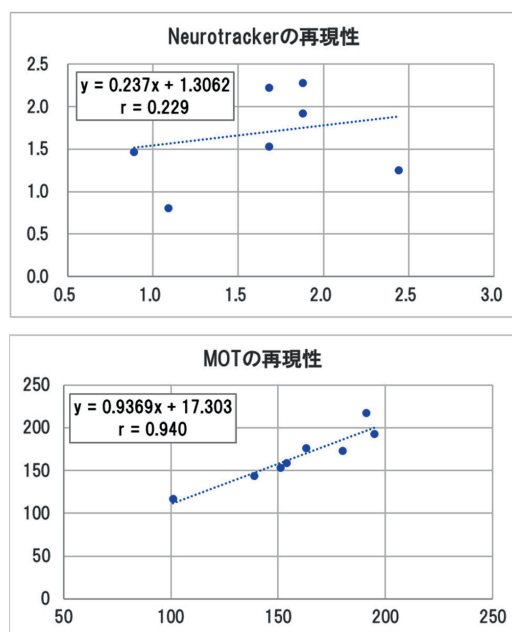


図3 NT (上図) とMOT (下図) の再現性

測定を行っている。その中で、たびたび被検者も検者も、スコアに納得のいかないことがあった。主観ではあるが、予想より悪い、あるいはよいという結果がでる。そこで、先にも述べたように適正な評価ができるようにアルゴリズムを作成したのである。そこでMOTにおける2セッションのスコアを比較すると、極めて差が小さいことがわかった。

次に再現性という視点でこの点を示したのが図3である。

図からわかるように、NTには再現性がないが、MOTには高い再現性が認められた。この点はMOTアプリの方が適切に認知能力を反映しているともいえる。もちろん、この点はさらなる検証は必要であることは言うまでもない。

図4は、1人の選手が約650セッションのNTトレーニングを行った結果である(滝沢, 2022)。横軸はセッション数、縦軸はスコアとなっている。図から、1回ごとにバラツキながら、トレーニングが進むにつれて、NTスコアが上がっているのがわかる。このバラツキが、1回1回の認知能力のバラツキであるのか、アプリの特性によるバラツキであるのかは証明できないが、MOTの再現性の結果を見ると、NTのスコアの信憑性についても検証する必要があると考えられる。

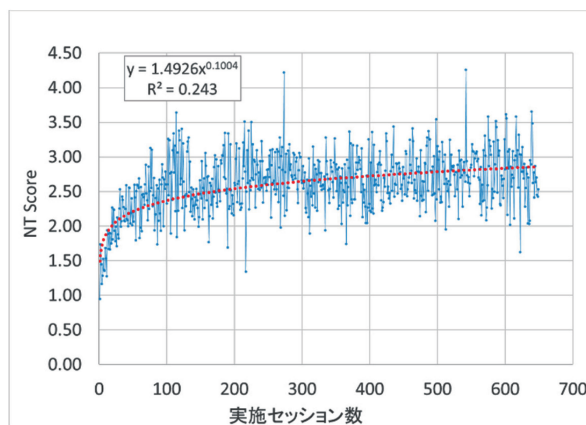


図4 一人の選手のNTのトレーニング結果

6. 今後の展望

以上のように、MOTが認知能力向上のアプリとなりうる可能性はあると考えられる。今後は、MOTによるトレーニングが、スポーツパフォーマンスを向上させるのか、高齢者の認知機能の維持・向上に効果があるのか、子どもの学習能力を高める効果があるのか、などの検証が必要である。これらは、転移効果と

呼ばれるもので、NTにおいてもエビデンス不足が指摘されていることである (Harris, D., 2018; Vatre, C., 2021)。

最後に、データの蓄積と共に改良を重ねていくことは重要である。アルゴリズム、使い勝手、インターフェイスなどが上げられる。自作のよさは、変更・改良が自らの判断で行える点である。

利益相反

本発表に関連して開示すべき利益相反関係にある企業等はない。

文献

- 1) Assed, M. M., Veiga de Carvalho, MKH, Rocca, CC, and Serafim, AP (2016) Memory training and benefits for quality of life in the elderly: A case report. *Dement Neuropsychol.* 10 (2), 152-155.
- 2) Benoit, J. J., Roudaia, E., Johnson, T., Love, T. and Faubert, J. (2020) The neuropsychological profile of professional action video game players. *PeerJ.* 17; 8: e10211.
- 3) Fragala, MS, Beyer KS, Jajtner AR, Townsend JR, Pruna GJ, Boone CH, Bohner JD, Fukuda DH, Stout JR, and Hoffman JR (2014) Resistance exercise may improve spatial awareness and visual reaction in older adults. *J Strength Cond Res.* 28 (8), 2079-2087.
- 4) Harris, D. J., Wilson, M. R., Vine, S. J. (2018) A Systematic Review of Commercial Cognitive Training Devices: Implications for Use in Sport. *Front Psychol.* 11; 9: 709.
- 5) Lee, Y., Lee, SH, Yoo, J. and Kwon, K. (2021) Efficient Single-Shot Multi-Object Tracking for Vehicles in Traffic Scenarios. *Sensors (Basel).* 21 (19) 6358.
- 6) Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Rogowski, J. P., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., Beyer, K. S., Bohner, J. D., Pruna, G. J, Fragala, M. S. and Stout, J. R. (2014) Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players. *J Strength Cond Res.* 28 (9), 2406-2414.
- 7) Michaels, J., Chaumillon, R., Mejia-Romero, S., Bernardin, D. and Faubert, J. (2022) Three-dimensional multiple object tracking improves young adult cognitive abilities associated with driving: evidence for transfer to the useful field of view. *Neuroreport.* 33 (12), 504-508.
- 8) Perico, C., Tullo, D., Perrotti, K., Faubert, J. and Bertone, A. (2014) The effect of feedback on 3D multiple object tracking performance and its transferability to other attentional tasks. *Vision Sciences Society Annual Meeting Abstract.*
- 9) Pylyshyn, Z. W and Storm, R. W (1988) Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat Vis* 3 (3), 179-197.
- 10) Ren, S., He, K., Girshick, R. and Sun, J. (2017) Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 39 (6), 1137-1149.
- 11) Romeas, T., Guldner, A. and Faubert, J. (2016) 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. *Psychology of Sport and Exercise* 22, 1-9.
- 12) 滝沢宏人, 星野秀樹, 渡邊奈々, 稲山泰樹, 平華子, 天野勝弘 (2022) バスケットボール選手における認知機能トレーニングのパフォーマンスへの転移効果および適正トレーニング計画の作成. *愛知大学体育学論叢*第29号, 13-22.
- 13) Tremblay, M., Tétreau, C., Corbin-Berrigan, LA and Descarreaux, M. (2022) Anthropometrics, Athletic Abilities and Perceptual-Cognitive Skills Associated With Baseball Pitching Velocity in Young Athletes Aged Between 10 and 22 Years Old. *Frontiers in Sport and Active Living* 4: 822454.
- 14) Vater, C., Gray, R. and, Holcombe, A. O. (2021) A critical systematic review of the Neurotracker perceptual-cognitive training tool. *Psychon Bull Rev.* 28 (5), 1458-1483.
- 15) Wang, G. (2021) Train and deploy a FairMOT model with Amazon SageMaker. *Amazon SageMaker, Artificial Intelligence, General.*
- 16) 渡邊奈々, 天野勝弘 (2018) 新体操の投げ受けにおける空間・時間予測能力の重要性. *國學院大學人間開発学会学研究*第十号, 69-90.
- 17) 渡邊奈々, 天野勝弘, 船渡和男 (2018) スポーツ

における空間・時間予測能力評価に向けての取り組み、昭和大学スポーツ運動科学研究所第7回学術研究発表会プログラム。

- 18) 渡邊奈々 (2018) 3次元多物体追跡 (3D-MOT) トレーニングが新体操ジュニア選手のクラブの投げ・受けパフォーマンスに与える効果, 國學院大學人間開発学会学研究第十号, p7.
- 19) 渡邊奈々, 天野勝弘 (2018) 3D-MOT (ニューロトラッカー) で評価される認知機能の特性, 東京体育学研究Vol.10, p26.
- 20) 渡邊奈々, 三輪康廣, 小林咲里亜, 天野勝弘 (2018) 3次元多物体追跡 (3D-MOT) トレーニングが新体操ジュニア選手のクラブの投げ・受けパフォーマンスに与える効果, 埼玉純真短期大学研究論文集第11号, 59-66.
- 21) Yadav, S. Gulia, P., Gill, NS, Chatterjee, JM (2022) A Real-Time Crowd Monitoring and Management System for Social Distance Classification and Healthcare Using Deep Learning. J Healthc Eng: 2130172.

Faubert J.文献 (出版年)

- 1) doi: 10.1097/WNR.0b013e328353e48a. (2012)
- 2) doi: 10.1038/srep01154. (2013)
- 3) doi: 10.3389/fpsyg.2013.00323. (2013)
- 4) doi: 10.3389/fpsyg.2015.01343. (2015)
- 5) doi: 10.1371/journal.pone.0188373. (2017)
- 6) doi: 10.1136/bmjsem-2018-000384. (2018)
- 7) doi: 10.1111/desc.12670. (2018)
- 8) doi: 10.1177/0031512519860286. (2019)
- 9) doi: 10.1080/02699052.2020.1723699. (2020)
- 10) doi: 10.1167/jov.20.5.9. (2020)
- 11) doi: 10.7717/peerj.10211. (2020)
- 12) doi: 10.1371/journal.pone.0240201. (2020)
- 13) doi: 10.1038/s41598-021-83456-x. (2021)
- 14) doi: 10.1186/s40814-021-00879-z. (2021)
- 15) doi: 10.1097/WNR.0000000000001807. (2022)

謝辞

本研究を遂行するにあたり、測定環境のセットなどのご協力をいただいた環太平洋大学体育学部教授の早田剛先生に感謝いたします。また、被検者として協力をいただいた環太平洋大学および愛知大学の学生諸君に感謝いたします。

付録

- 1) <https://www.neurotrackerx.com/post/study-discovers-new-learning-abilities-children>
- 2) <https://www.neurotrackerx.com/who-we-work-with#military>