



專攻學科目
生年
略歷

同	同	同	同	同	同	同	同	平	同	同	同	同	昭	昭	計
三〇年	二九年	二七年	二二年	二〇年	一八年	一六年	一五年	成 六	六三年	六二年	六一年	五六年	五六年	和 五	算論の神經科学
四月	八月	四月	四月	四月	四月	五月	四月	四月	四月	六月	六月	七月	三月	三月	一月

東京大学理学部物理学科卒業
大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了
工学博士
大阪大学基礎工学部助手
文部省学術国際局学術調査官（併任）
大阪大学基礎工学部講師
（株）エイ・ティ・アール（ATR）視聴覚機構研究所主任研究員
金沢工業大学客員教授（現在に至る）
奈良先端科学技術大学院大学客員教授（平成三一年三月まで）
（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報研究所所長（現在に至る）
（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）フェロー
富山県立大学特任教授（現在に至る）
科学技術振興機構さきがけ領域総括（平成二八年三月まで）
（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報通信総合研究所所長（現在に至る）
自然科学研究機構新分野創成センターブレインサイエンス研究分野長（平成三〇年三月まで）
（株）XNet代表取締役CEO（現在に至る）
理化学研究所革新知能統合研究センター特別顧問（現在に至る）

工学博士川人光男氏の「計算論的神経科学による脳機能の解明とブレインマシンインタフェースの開発」に対する授賞審査要旨

川人光男氏は、平衡位置制御仮説の批判的検証、小脳内部モデル理論、モザイク理論、視覚の双方向性理論の提案と実験的検証など、脳機能を情報処理・計算理論の観点から解明し、世界的に大きな影響を与えてきた。二〇〇九年には、これらの知見を生かし、脳の外側から脳活動を記録し、必要な情報を抽出し、考えるだけでロボットや家電を動かせる革新的な脳情報通信技術（ブレインマシンインタフェース（BMI））の開発に成功し、その有用性を広く社会に示した。また、二〇一一年には訓練なしに脳情報を望ましい状態に導く「デコーディッドニューロフィードバック（DecNeF）法」を開発、中枢性慢性疼痛、うつ病を含めた精神・神経疾患の治療に新たな可能性を示すと共に、神経科学に新しい学問領域を切り開いた。

（１）小脳内部モデル理論等の提案と実証

従来、運動制御の仕組みとしては、脳が仮想軌道を作り、身体がそれを追いかけることで随意運動が実現される平衡位置制御仮説（仮想軌道制御仮説）が有力だった。一方で、登上線維入力を教師信号として運動学習を行うとする「内部モデル」仮説が Marr-Albus-Ito によって提案されていた。

川人氏は、随意運動の計算モデルの検討を繰り返す中で、小脳皮質には学習可能な神経回路が存在し、大まかには、体に行動を命令する神経回路、実際に体がどういう行動をしたのかを小脳に伝える神経回路、想い描いていた行動と実際の行動の差を見つけてその差をなくそうとする神経回路が相互に作用した結果、行動が修正され、徐々に思い描く行動を実現できるという数理モデル「小脳内部モデル理論」を提案した。その後、サル（Nature, 1993）の脳活動データの波形がモデル理論の予測と一致していること（Nature, 1993）、運動中の腕が仮想軌道制御仮説による「かたい」制御ではなく、内部モデル理論による「やわらかい」制御を受けていることを証明（Science, 1996）、二〇〇〇年には、ヒトが新しい道具を使う時の学習過程の脳活動を MRI により計測、その活動の変化を解析し、限られた範囲に「内部モデル」を反映する活動領域が存在することを証明した（Nature, 2000）。これら一連の研究により、仮想軌道制御仮説にか

わり、「内部モデル」が運動制御の定説となり、代表的な神経科学の教科書にも記載されるようになった。

さらに、より複雑な運動や環境への適応を説明するモザイク理論、視覚の双方向性理論の提案と実験的検証など、脳機能を情報処理・計算理論の観点から解明し世界的に影響を与えてきた。

(2) ヒューマノイドロボットへの実装

この内部モデル理論を、川人氏が統括したISTERATOプロジェクトで開発した三〇自由度を持つヒューマノイドロボットの運動学習に実装し、ヒトと同じ原理でロボットを動かすことに成功、同理論を実証した。その結果、二〇以上に及ぶタスクを小脳内部のモデル学習、見まね学習、強化学習などで達成した。これら脳の原理に基づくヒューマノイドロボットの学習は世界的にも大きな注目を集めた。

二〇〇八年には、世界で初めて、サルの大脳皮質活動情報をネットワークを介して米国から日本に伝送し、リアルタイムでロボットを歩行させることに成功、脳神経科学とネットワークロボティクスの技術の融合を実現した。

(3) ブレインマシンインタフェース (BMI) の開発

その後、脳活動信号を読み取り、脳活動で外部の機械やコンピュータなどを制御する「ブレインマシンインタフェース (BMI)」への応用に着手、二〇〇九年には、これまでの技術を集約し、(株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン、(株)島津製作所と共同で、世界で初めて「考えるだけでロボットを制御するBMI技術」の開発に成功した。この時の技術的革新は、脳活動に伴う頭皮上の電位変化を計測するEEGと、脳血流の変化を計測するNIRSを併用し、これら二種類の複雑な情報を統計処理する情報抽出技術を新しく開発した点にあり、これにより脳活動を高精度に判別、ロボット制御が可能となった。この成果は国内外に「ブレインマシンインタフェース (BMI)」技術の有用性を広く知らしめた。

(4) 精神・神経疾患の治療に向けた新たな道筋

二〇一一年にはNIRSを使って、人工知能技術を組み合わせ、特定の脳活動情報を解読し、その類似度を視覚情報として脳にフィードバックすることで、本人が意識することなく特定の脳活動を実現することのできるデコーディッドニューロフィードバック (DecNeF) 法を開発した (Science, 2011)。従来のニューロフィードバック法と違い、複雑な脳活動を扱うことができること、操作対象

領域を特定できることから、精神疾患患者の脳活動パターンを健常者の脳活動パターンに近づけることで、精神疾患患者の症状改善が期待できるものとして、中枢性慢性疼痛、精神・神経疾患の治療に向けた新たな道筋を示した。

主要論文リスト

- 1) Yamashita A, Yahata N, Itohashi T, Lisi G, Yamada T, Ichikawa N, Takamura M, Yoshihara Y, Kunimatsu A, Okada N, Yamagata H, Matsuo K, Hashimoto R, Okada G, Sakai Y, Morimoto J, Narumoto J, Shimada Y, Kasai K, Kato N, Takahashi H, Okamoto Y, Tanaka SC, Kawato M, Yamashita O, and Imamizu H: Harmonization of resting-state functional MRI data across multiple imaging sites via the separation of site differences into sampling bias and measurement bias. *PLoS Biology*, **17**, e3000042 (2019).
- 2) Yamashita M, Yoshihara Y, Hashimoto R, Yahata N, Ichikawa N, Sakai Y, Yamada T, Matsukawa N, Okada G, Tanaka SC, Kasai K, Kato N, Okamoto Y, Seymour B, Takahashi H, Kawato M, and Imamizu H: A prediction model of working memory across health and psychiatric disease using whole-brain functional connectivity. *eLife*, **7**, e38844 (2018).
- 3) Taschereau-Dumouchel V, Cortese A, Chiba T, Knotts JD, Kawato M, and Lau H: Towards an unconscious neural-reinforcement intervention for common fears. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **115**, 3470–3475 (2018).
- 4) Watanabe T, Sasaki Y, Shibata K, and Kawato M: Advances in fMRI real-time neurofeedback. *Trends in Cognitive Sciences*, **21**, 997–1010 (2017).
- 5) Yamada T, Hashimoto R, Yahata N, Ichikawa N, Yoshihara Y, Okamoto Y, Kato N, Takahashi H, and Kawato M: Resting-state functional connectivity-based biomarkers and functional MRI-based neurofeedback for psychiatric disorders: a challenge for developing therapeutic biomarkers. *International Journal of Neuropsychopharmacol*, **20**, 769–781 (2017).
- 6) Cortese A, Amaro K, Koizumi A, Kawato M, and Lau H: Multivoxel neurofeedback selectively modulates confidence without changing perceptual performance. *Nature Communications*, **7**, 13669 (2016).
- 7) Koizumi A, Amaro K, Cortese A, Shibata K, Yoshida W, Seymour B, Kawato M, and Lau H: Fear reduction without fear through reinforcement of neural activity that bypasses conscious exposure. *Nature Human Behaviour*, **1**, 0006 (2016).
- 8) Shibata K, Watanabe T, Kawato M, and Sasaki Y: Differential activation patterns in the same brain region led to opposite emotional states. *PLoS Biology*, **14**, e1002546 (2016).
- 9) Yahata N, Morimoto J, Hashimoto R, Lisi G, Shibata K, Kawakubo Y, Kuwabara H, Kuroda M, Yamada T, Megumi F, Imamizu H, Namez JE, Takahashi H, Okamoto Y, Kasai K, Kato N, Sasaki Y, Watanabe T, and Kawato M : A small number of abnormal brain connections predicts adult autism spectrum disorder. *Nature Communications*, **7**, 11254 (2016).
- 10) Shibata K, Watanabe T, Sasaki Y, and Kawato M: Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback without stimulus presentation. *Science*, **334**, 1413–1415 (2011).
- 11) Haruno M and Kawato M: Activity in the superior temporal sulcus highlights learning competence in an interaction game. *Journal of Neuroscience*, **29**, 4542–4547 (2009).
- 12) Kawato M: From “Understanding the Brain by Creating the Brain” towards manipulative neuroscience. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **363**, 2201–2214 (2008).

- 13) Franklin D, Burdett E, Peng T, Osu R, Meng C, Milner T, and Kawato M: CNS learns stable accurate and efficient movements using a simple algorithm. *Journal of Neuroscience*, **28**, 11165–11173 (2008).
- 14) Kawato M: Brain controlled robots. *HESP Journal*, **2**, 136–142 (2008).
- 15) Tanaka K, Khirouf L, Santamaria F, Doi T, Ogasawara H, Ellis-Davies G, Kawato M, and Augustine GJ: Ca^{2+} requirements for cerebellar long-term synaptic depression: role for a postsynaptic leaky integrator. *Neuron*, **54**, 787–800 (2007).
- 16) Kawato M and Samejima K: Efficient reinforcement learning: computational theories, neuroscience and robotics. *Current Opinion in Neurobiology*, **17**, 205–212 (2007).
- 17) Schaal S, Sternad D, Osu R, and Kawato M: Rhythmic arm movement is not discrete. *Nature Neuroscience*, **7**, 1137–1144 (2004).
- 18) Schweighofer N, Doya K, H. Fukai, Chiron JV, Furukawa T, and Kawato M: Chaos may enhance information transmission in the inferior olive. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **101**, 4655–4660 (2004).
- 19) Osu R, Hirai S, Yoshioka T, and Kawato M: Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand. *Nature Neuroscience*, **7**, 111–112 (2004).
- 20) Imanizu H, Kuroda T, Miyauchi S, Yoshioka T, and Kawato M: Modular organization of internal models of tools in the human cerebellum. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **100**, 5461–5466 (2003).
- 21) Burdett E, Osu R, Franklin D, Milner T, and Kawato M: The central nervous system stabilizes unstable dynamics by learning optimal impedance. *Nature*, **414**, 446–449 (2001).
- 22) Atkeson CG, Hale J, Pollick F, Riley M, Kotosaka S, Schaal S, Shiba T, Tevatia G, Vijayakumar S, Ude A, and Kawato M: Using humanoid robots to study human behavior. *IEEE Intelligent Systems: Special Issue on Humanoid Robotics*, **15**, 46–56 (2000).
- 23) Imanizu H, Miyauchi S, Tamada T, Sasaki Y, Takino R, Pretz B, Yoshioka T, and Kawato M: Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a novel tool. *Nature*, **403**, 192–195 (2000).
- 24) Kawato M: Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, **9**, 718–727 (1999).
- 25) Wolpert D and Kawato M: Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, **11**, 1317–1329 (1998).
- 26) Kobayashi Y, Kawano K, Takemura A, Inoue Y, Kitama T, Gomi H, and Kawato M: Temporal firing patterns of Purkinje cells in the cerebellar ventral paraflocculus during ocular following responses in Monkeys II. complex spikes. *Journal of Neurophysiology*, **80**, 832–848 (1998).
- 27) Gomi H and Kawato M: Equilibrium-point control hypothesis examined by measured arm-stiffness during multi-joint movement. *Science*, **272**, 117–120 (1996).
- 28) Kawato M and Gomi H: Computational models of cerebellar motor learning. *Trends in Neurosciences*, **16**, 177–178 (1993).
- 29) Shidara M, Kawano K, Gomi H, and Kawato M: Inverse-dynamics model eye movement control by Purkinje cells in the cerebellum. *Nature*, **365**, 50–52 (1993).
- 30) Kawato M and Gomi H: The cerebellum and VOR/OKR learning models. *Trends in Neurosciences*, **15**, 445–453 (1992).
- 31) Kawato M, Maeda Y, Uno Y, and Suzuki R: Trajectory formation of arm movement by cascade neural network model based on minimum torque-change criterion. *Biological Cybernetics*, **62**, 275–288 (1990).
- 32) Kawato M, Isobe M, Maeda Y, and Suzuki R: Coordinates transformation and learning control for visually-guided voluntary movement with iteration: a Newton-like method in a function space. *Biological Cybernetics*, **59**, 161–177

- (1988).
- 33) Kawato M, Furukawa K, and Suzuki R: A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement. *Biological Cybernetics*, **57**, 169–185 (1987).
- 34) Kawato M, Yamane A, Utsushiro S, Nagata O, Iriyama H, and Suzuki R: Simulation analysis of excitation conduction in the heart: Propagation of excitation in different tissues. *Journal of Theoretical Biology*, **120**, 389–409 (1986).