

理研とトヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ）が、
2007年11月に理研脳科学総合研究センター（BSI）内に設立した
理研BSI-トヨタ連携センター（BTCC）では現在、脳科学による人間に対する深い理解に基づき、
自動車の運転支援と脳卒中などのリハビリテーション（リハビリ）に関する新しい技術の開発が進められている。
第2期（2012～14年度）からBTCCを率いる國吉康夫 連携センター長と、
トヨタの研究開発戦略を策定している技術統括部の岡島博司 主査に、
BTCCのこれまでの歩みと今年4月からスタートした
第3期（2015～17年度）の目標を聞いた。

脳科学と技術の対話により、 人間の理解に基づくイノベーションを創出する 理研BSI-トヨタ連携センター第3期が始動

■「気宇壮大」をキーワードに社会貢献を目指す

——トヨタでは、どのような経緯で理研と連携することにしたのですか。

岡島：2005年、トヨタの技術担当だった副社長が文部科学省の事務次官と、ある委員会であたま隣同士の席となり、産学連携をもっと深めるべきだという議論で盛り上がったそうです。そして、文部科学省が所管する二つの研究機関が候補に挙がりました。その一つが理研です。それがきっかけとなり、理研とトヨタの連携の議論が始まりました。

それまで研究所や大学などの研究者が持つ技術を生かした共同研究は進めていましたが、そのような個別の共同研究では解決できない大きな課題を私たちは抱えていました。例え

ば、自動車を運転するとき、道路状況などをどのように認識・判断して運転をしているのか、といった人間を理解するための研究を私たちは始めていましたが、さらに掘り下げるには脳科学の基礎研究が必要だと感じていたのです。そこで、BSIとトヨタ双方の潜在能力を引き出すような形の連携を目指すことにしました。

國吉：そのためにBTCCという新しい組織をつくったことが、既存の組織間で進める産学連携との大きな違いです。私は、BTCCの設立準備の議論に何度か参加しました。日本の脳科学研究のトップであるBSIと、ものづくりを世界的にけん引しているトヨタというまったく異質な組織の人たちが、「気宇^{きうそう}壮大^{だい}」というキーワードで社会を変える大きなイノベーションを創出しようと議論していたことが、とても印象的でした。そしてBTCC設立時に、単にトヨタとBSIの利益のためではなく、広く社会に貢献するために共同研究を行うという理念が掲げられました。その理念を私たちは受け継いでいます。

——第1期（2007年11月～2012年3月）には、どのような研究を行ったのですか。

國吉：「ニューロドライビング」「ニューロロボティクス」「脳と健康」の三つの研究領域を定め、七つの連携ユニットを設けて研究を進めました。

岡島：トヨタでは2005年に愛知県で開催された日本国際博覧会にロボットを出展して以降、ロボット事業を立ち上げる取り組みを続けています。また当時、トヨタでは「乗れば乗るほど健康になる車」というキャッチフレーズを掲げて研究開発に取り組んでいました。そのような中で、「ニューロドライビング」に加えて「ニューロロボティクス」「脳と健康」という研究領域を設定しました。

——第1期ではどのような成果が出ましたか。

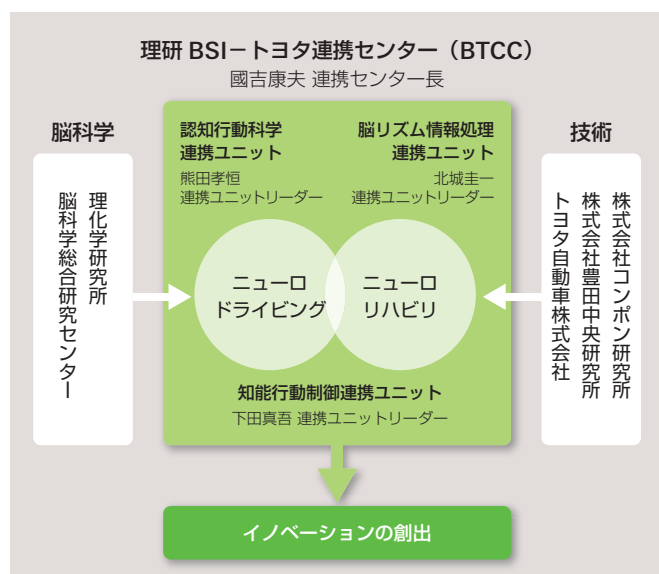


図1 理研BSI-トヨタ連携センター 第2期・第3期の体制

産業技術総合研究所、森之宮病院、国立長寿医療研究センターとも連携して研究を進めている。

課題コース

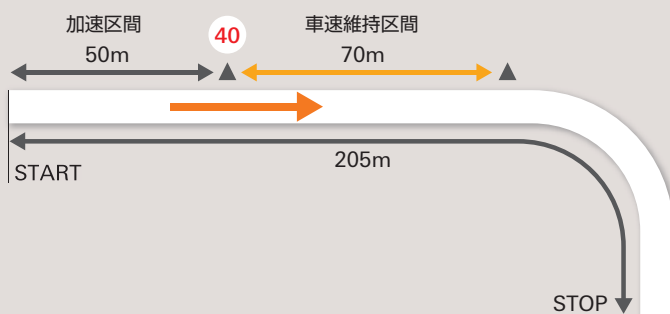
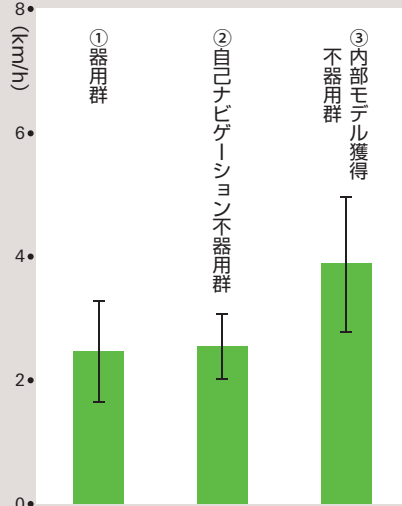


図2 運転の器用・不器用の特徴を探る実験

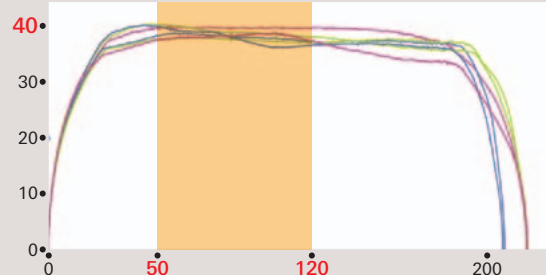
時速40kmまで加速した後で、車速を維持して直進し、カーブを曲がる課題。内部モデル獲得不器用群では、車速維持区間での速度変化が大きいことが分かった（産業技術総合研究所との共同研究）。

米村朋子、佐藤裕久、赤松幹之、木村好克、井上聡、倉橋哲郎、藤枝延雄、熊田孝恒「視覚―運動協調機能によるドライバの分類に基づく自動車運転スキルの分析」『自動車技術会論文集』Vol.45、No.2、pp.405-410（2014）より

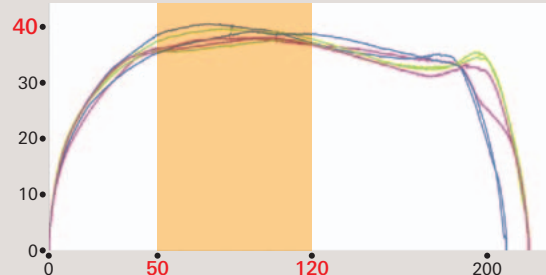
車速維持区間での速度変化（最大速度－最小速度）



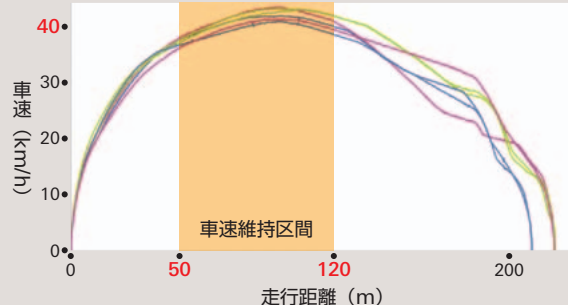
①器用群



②自己ナビゲーション不器用群



③内部モデル獲得不器用群



國吉：脳波で車いすを動かす技術など、質の高いさまざまな研究成果が生まれました。ただし、それらの研究テーマにばらつきがあり、トヨタの製品や技術に結び付くまでには、かなり距離があるものでした。

岡島：そもそも、私たちのものづくりの世界と脳科学は用語も違うため、対話が難しい状況からBTCCはスタートしました。互いに理解し合い距離を縮めるのに予想以上に時間がかかりました。ただし、それはやむを得ないことで、時間をかけて行うべきことでした。

■ 完全自動運転ではなく、「わくわくする車」を目指す

——第2期ではどのように研究を進めたのですか。

國吉：研究領域を「ニューロドライビング」と「ニューロリハビリ」の二つに、そして連携ユニットの数を三つに絞り込みました（図1）。それによりトヨタ側と交流がしやすくなり、トヨタの抱えている課題を理解した上で、学術的にも価値のある研究テーマを設定することができるようになりました。

——どのような研究成果が生まれましたか。

國吉：「ニューロドライビング」では、認知行動科学連携ユニットが、運転に関わる脳の情報処理のモデルをつくり、実験によってそのモデルを検証することで、運転の器用・不器用には二つの能力が関係していることを明らかにしました。

“これだけハンドルを切れば車はこう動く”といった予測を行う「内部モデル獲得」の能力と、目標地点と自分の位置を結ぶ最適軌道を設定しその中央を維持して運転する「自己ナビゲーション」の能力です。この二つの能力について、それぞれ運転が不器用な人と器用な人の違いを、実際の車を使った実験で調べました（図2）。時速40kmまで加速した後、車速を維持して直進し、カーブを曲がるという課題です。すると、内部モデル獲得が不器用な人は、車速維持区間で速度を一定に保つことができない傾向がありました。ドライバーの能力の特徴に合わせて、車両側でどのような支援が必要か、具体的に明らかになってきたのです。

岡島：私たちは、皆さんにできるだけ運転がうまくなっていたきたいのです。そうすれば、事故が減るとともに運転が楽しくなりますよね。そのために、内部モデル獲得や自己ナビゲーションが不器用な人に、車両側で運転を支援すると同時に、ドライバー自身に修正が必要だと気付かせる必要があります。車両側ですべて補正してしまうと、いつまでたっても運転がうまくなり、ほかの車に乗りなくなってしまいます。

車両側でどれくらい運転支援を行えば、楽しく安全に運転していただけるかは難しい問題です。例えば、トヨタでは車線の中央を外れると車両側でハンドルを少しずつ切って補正する「レーンキープアシスト」という技術を開発しました。し



國吉康夫 連携センター長（左）と岡島博司 主査

かし運転がうまい人にとっては、その補正が面白くないと感じてしまう場合があるかもしれません。ドライバーに合わせてどのくらい車両側が補正すべきか、脳科学の視点からきちんと理解した上で運転支援を行えるようにしたいと考えています。

——最近、自動運転が話題になっていますね。

岡島：道路環境が単純な自動車専用道路ならば、自動運転は近い将来に可能になるかもしれません。しかし、歩行者や自転車、二輪車が混在する複雑な道路環境で、安全に自動運転を行う技術を完成させるには、かなりの時間がかかるでしょう。

そもそも自動車は単なる移動手段ではなく、運転を楽しむという側面があります。疲れているときや渋滞のときには自動運転が便利でしょうが、あらゆる状況で完全に自動運転を行う車は、私たちが目指している方向性ではありません。車がドライバーの能力に合わせて適切に運転を支援することで、安全で運転しやすい車、乗っていて楽しい車、わくわくする車を私たちは提供したいのです。そのためにニューロドライビングの研究を進めています。

さらに私たちは、車を運転する作業は脳を鍛え、老化を予防できるかもしれないという期待を持っています。公共交通機関が限られている地域では、高齢者の方が運転免許を返上すると外出する機会が減り、社会との接点がなくなってしまう傾向があります。すると心と体の老化が進んでしまうという

問題もあります。

視力や聴力が衰え、認知・判断にも時間がかかる高齢者の方に車が最適な支援をすることで安全に運転していただき、しかも脳を刺激して、社会との接点を保つ、「乗れば乗るほど健康寿命が延びる車」を実現したいと考えています。そのためにも、ニューロドライビングの研究により、自動車運転と脳の関係について基礎から理解する必要があります。

國吉：今のお話は、私たちの今後の研究の重要なポイントです。人間と車やロボットなどの機械がそれぞれ自律的な知能を持ちながら協調することでより良い効果が出るようにすること、機械が人間を理解して適切に働き掛けて導くこと、それは完全な自動運転よりも難しい課題かもしれません。学術的にも未解決でやりがいのあるテーマです。

■ 脳科学に基づく新しいリハビリ法を生み出す

——「ニューロリハビリ」では、どのような成果が生まれましたか。

國吉：いくつかの重要な発見がありました。その一つは、脳卒中からの回復度と脳波の関係です。脳卒中は脳の一部の血管が詰まったり破れたりすることで栄養が届かなくなり、神経細胞が死んでしまう病気です。脳の右半球に細胞死が起きると左半身に、左半球に起きると右半身に麻痺が出て、手足の動作が不自由になります。

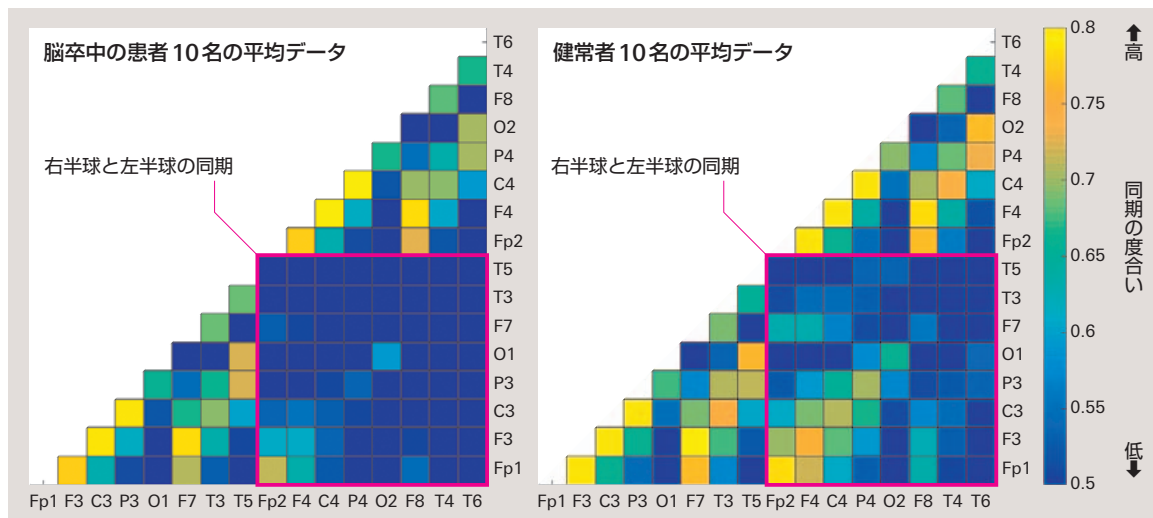
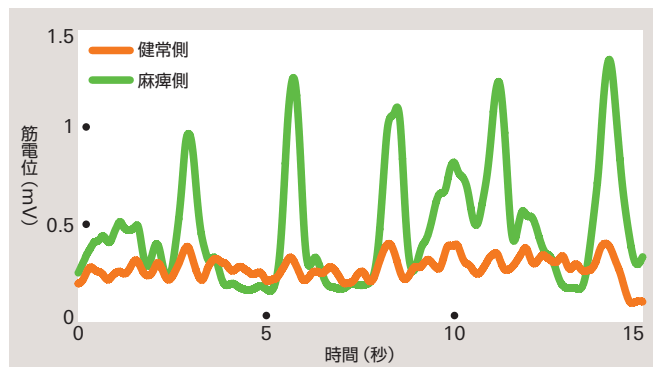


図3 安静時の脳波の同期

縦軸と横軸は脳波を計測した脳の名領域を示し、縦軸と横軸の交点の色が領域間の脳波の同期の度合いを示している。脳卒中の患者では健康者に比べて、右半球と左半球の脳波の同期が低下している。回復が進むと、半球間の同期が高まること分かった（森之宮病院との共同研究）。

図4 肩の三角筋の筋電位

半身が麻痺した脳卒中の患者に、いくつかのパターンで両腕を同時に動かしてもらい、左右の腕12ヶ所の筋電位を計測した。すると、麻痺した側では肩の三角筋が上腕二頭筋と連動していることが分かった。健常側ではこのような三角筋の連動は見られない(国立長寿医療研究センターとの共同研究)。



脳リズム情報処理連携ユニットでは、脳卒中の患者さんの脳波を、細胞死が起きた特定部位だけでなく、脳全体について調べました。すると、回復の過程で自立して生活できるようになっている患者さんほど、右左の半球間の脳波が同期する度合いが高いことが分かりました(図3)。つまり、脳卒中の影響は細胞死が起きた特定部位だけでなく脳全体の活動にも及んでいて、それがリハビリによる回復度と関係しているのです。

脳リズム情報処理連携ユニットでは、半球間の脳波の同期を高めることで機能が回復すると考えています。脳へ何らかの刺激を与えて同期を高め、リハビリによる機能の回復を促進する手法の開発を目指しています。

——トヨタでは、リハビリロボットの研究も進めていますね。

岡島：ヒューマノイド(人型)ではありませんが、歩行などが不自由な方の運動を支援してリハビリを行うパートナーロボットの開発を進めています。

國吉：知能行動制御連携ユニットでは、ある動作をするときに、脳はそれぞれの筋肉をどのように制御しているのかを研究しています。そのために、半身が麻痺した脳卒中の患者さんに協力していただき、筋肉を動かすときに発生する電位(筋電位)を測定して分析しました。すると、麻痺した側と健常な側では、筋肉の連動のさせ方に違いがあることが分かりました(図4)。現在、患者さんごとの筋肉制御の状態に合わせて、どのようなリハビリ法が機能回復に効果的かを研究しています。

■ 人に働き掛けて人を導く

——患者さんの状態に合わせてリハビリ法を変えていくことと、ドライバーの能力に合わせて運転支援の仕方を変えていくことは、似た研究テーマですね。

國吉：そのとおりです。ニューロドライビングとニューロリハビリには共通する研究テーマがたくさんあります。BTCCでは第2期から月1回、各連携ユニットの研究者が一堂に会した会議を開き、それぞれの研究状況を報告しています。その会議にはトヨタ側からも毎回参加していただき、活発な議論が行われています。

二つの研究領域に三つの連携ユニットという第2期の体制がとても有効でした。研究領域が一つだけでは、研究に広が

りがなくなります。研究領域が二つあるので、ニューロドライビングのある研究成果がニューロリハビリにも関係しているかもしれないと議論が起き、研究成果をより一般性のある知見や技術へと発展させることができます。

——今年4月からスタートした第3期では、どのような体制で、何を目指しますか。

國吉：第2期の体制を継続して進めています。ニューロドライビングとニューロリハビリの共通点を明らかにして、人に働き掛け導いていくための原理を発見することが、大きな目標の一つです。そしてニューロリハビリでは、患者さんの回復度に合わせて最適なりハビリ法を適用していくシステムを試作することを目指します。

岡島：第2期では製品化に結び付く基礎研究が行われたと、大変評価しています。第3期では、ある研究成果については、トヨタ内部で製品開発を始めるものや、試作したシステムを病院と連携して実際に患者さんに使っていただき評価する段階に進むものが出てくると期待しています。

一方で、さらに基礎研究を深める必要がある研究テーマもあります。例えば、運転の器用・不器用についても、さらに総合的に理解する必要があると考えています。

■ 最先端の基礎研究と技術を直結させる

——BTCCの活動にはどのような意義があるとお考えですか。

國吉：BTCCで取り組んでいる研究テーマや方法論は、学術的にも新規性があり価値が高いと思います。また、これからの社会に大きな貢献をするには、人間についての深い理解に基づくイノベーションの創出が必要です。産業界における競争でもそこが勝負の決め手になるのではないのでしょうか。そのようなイノベーションを創出するには、最先端の基礎研究と技術を直結させる必要があります。

岡島：これまでのBTCCの活動により、最先端の基礎科学と技術の対話が可能であることを実証できました。高い潜在能力を持つ基礎研究の機関は世界中にあります。BTCCでの経験を踏まえて、今まで接点のなかった基礎研究との新しい連携の準備を進めているところです。

(取材・構成：立山 晃/フotonクリエイト)