総務省「脳と ICT に関する懇談会」 における検討

Author

高村 信 Shin Takamura 総務省情報通信国際戦略局研究推進室

1 まえがき

本稿のタイトルを見て、「なぜ、総務省が脳?」、「なぜ、脳と ICT?」と感じる読者が多いものと思われることから、まずはその疑問を解きほぐすところから始める。

1.1 情報通信技術の主たる目標は何か

情報通信技術 (ICT: Information Communication Technology) は何を指して発展を遂げるのか、それはある意味、究極の命題であり、恐らく一意に答えが定まるものではないことから、筆者なりの考え方を書かせて頂く。

ICT は、従来、Telecommunication の言葉のとおり、「離れた場所の間のコミュニケーションを成立させる」ことを第一の目的として発展を遂げてきた、と考えるのが一般的ではないか。究極のコミュニケーションは、時と場所を同じくして直接 Face to Face で話し合い、触れ合うことであろう。ICT は、離れた場所にいる相手がまるでそばにいるかのように感じさせるべく、文字から電話へ、電話からテレビ電話・テレビ会議へ、そしてより臨場感のあるコミュニケーションの実現へと、発展を遂げてきた。

そして ICT の恩恵を十分に浴することができる社会を実現するためには、いつでも、どこでも、どんな状況でも、大量の情報を円滑に伝えられることが必要になる。それを支えるのが、ブロードバンド技術や無線通信技術や、それを束ねて機能させるネットワーク技術などの基盤的な技術である。

同時に、ICT を活用しなければ実現不可能な困難なアプリケーション、例えば、時間を異にするコミュニケー

ション (メールや留守番電話) や、一対一ではなく一対多、多対多の円滑なコミュニケーション (電子掲示板やブログ) など幅広く発展を遂げた。その集大成ともいえるインターネットは、国際世論すら動かすコミュニケーション装置として、機能し始めている (図 1)。

図1 インターネットトラフィックの推移
出典：我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算
(総務省 平成 23 年 9 月 30 日)

このように、ICT は、Face to Face のコミュニケーションの代替手段になり得るように、若しくはより簡便に行えるようにすることを主目的に発達してきた、といえるのではないか。

1.2 ツールとしての情報通信技術

ICT は遠隔地とのコミュニケーションを主目的として発達してきたが、通信の対象はコミュニケーションにとどまらず、「単なる情報」にも広がってきた。

その最も無機質な例が、いわゆるセンサネットワークであろう。例えば、気象庁のアメダスは、様々なセンサが時々刻々と収集する気温や風向きなど、何の感情も含

2 「脳と ICT」の関係

まれない情報を、大量にそしてリアルタイムに収集し、集中的に分析することで、気象予測、という極めて価値の高いサービスを生み出している。

それだけでなく、ICTにより実現された情報通信ネットワークは、グローバル化した社会の中で、金融取引や商取引などの経済活動を支える動脈そのものとして機能している。今や情報通信技術の活用なしに経済活動は成り立たなくなっていると言っても過言ではない状況であり、今後の人類の発展を考える上で、ICTをいかに活用するかという視点を忘れることはできないであろう。

1.3 情報通信技術によるもう一つの貢献

その一方で、ICTを純粋に技術として捉えたとき、もう一つ実現を目指すべき道がある。それは、「ICTを用いたからこそ実現できるコミュニケーション」である。例えば、自動翻訳電話——言葉が通じない同士でも直接意思疎通を図ることを可能とする電話——のように、Face to Faceですら果たせないコミュニケーションをICTの助けを得ることで実現することが可能となるはずである。

更に一步進めて、「言葉にならない思い」や「うまく伝わらない本意」を、技術の助けを借りることで、相手に分かってもらえるようになれば、世の中が根本から変わるかもしれない。それだけ大きな可能性を秘めた技術というのは、そうはないのではないか(図2)。

図2 コミュニケーションの限界のイメージ

このようなICTの発展は、通信技術として単独に発展を遂げたのではなく、デバイスやコンピュータなど、様々な周辺技術の発展をいかし遂げられてきたものである。そして、総務省として、ICTの更なる発展の契機として捉えたのが、「脳科学」の発展である。すなわち、脳科学の知見を活かすことで、ICTを現在の延長線ではなく、別の高みへと発展させることができないかと考えたのである。

このため、総務省はICTの専門家や脳科学の専門家などから構成される「脳とICTに関する懇談会(以下、懇談会という)」を、平成22年4月に設置し、「脳とICT」という学際領域の研究開発に向けた検討を開始した(図3)。

懇談会はその検討結果として平成22年8月に中間報告書を、平成23年5月に最終報告書を取りまとめた。

中間報告書では、ICTの発展への脳科学の寄与(脳の仕組みに学ぶネットワーク)、脳科学へのICTの寄与(ネットワークを活用した脳活動の把握)、Face to Faceを超えるコミュニケーションの実現という三つの技術的課題を示した。最終報告書では、これら三つの課題達成のための手段と、課題達成に取り組むにあたっての倫理・安全面についての検討結果を報告した。

以下に、三つの課題及び倫理・安全面についての検討結果について、概要を述べることにする。

主 査	柳田敏雄	(大阪大学大学院生命機能研究科教授)
主査代理	川人光男	((株)国際電気通信基礎技術研究所 脳情報通信総合研究所所長)
	石井 信	(京都大学大学院情報学研究科教授)
	大岩和弘	(情報通信研究機構神戸研究所所長)
	苧阪満里子	(大阪大学大学院人間科学研究科教授)
	金子邦彦	(東京大学大学院総合文化研究科教授)
	北澤 茂	(順天堂大学医学部教授)
	小泉英明	((株)日立製作所フェロー(役員待遇))
	佐倉 統	(東京大学大学院情報学環教授)
	鈴木陽一	(東北大学電気通信研究所教授)
	田中啓治	(理化学研究所脳科学総合研究センター 副センター長)
	東倉洋一	(国立情報学研究所副所長)
	土井美和子	((株)東芝研究開発センター主席技監)
	星宮 望	(東北学院大学学長)
	村田正幸	(大阪大学大学院情報科学研究科教授)
	横澤一彦	(東京大学大学院人文社会系研究科教授)
	渡邊武郎	(ボストン大学教授)

図3 脳とICTに関する懇談会構成員

2.1 脳の仕組みに学ぶネットワーク

生物は、視覚、聴覚、触覚などの感覚情報だけでなく、血糖値や体内水分量といったバイタルサインなどの様々な情報を、的確かつ随時に脳に集め、脳内で適切な情報処理を行い、体内の反応すべき場所に対して必要な情報を送り届ける、という巨大なネットワークシステムと捉えることができる。通常の情報通信ネットワークに例えると、体内各所にセンサや作動部が設置され、それと脳を単純なツリー構造である神経で接続し、脳が各ポートに入力された信号を変換し適切な出力ポートから出力を行う、という仕組みといえよう。

言い換えると、神経から一つの入力があると、その入力に応じて別の神経へ同じ出力をする、という限定的な動作をする特殊な脳があれば、情報通信ネットワークそのものとみなすことができる。

同時に、脳はヒトの臓器の中では最もエネルギーを消費する器官ではあるが、それでもたかだか 20 W 程度のエネルギー消費である。一方、2005 年における国内の情報通信ネットワークによるエネルギー消費は、総務省「グローバル時代における ICT 政策に関するタスクフォース」が 2010 年に行った推計によれば、年間 502 億 kW・h、すなわち平均 573 万 kW に達したものと見込まれており、これと比較すると脳が消費するエネルギーは比べものにならないくらい小さい。

したがって、脳は膨大かつ複雑なトラヒックを適切にさばくことができる優れたネットワークそのものと考えられ、その仕組みをまねすることで、世界中に複雑に広がった情報通信ネットワークをより円滑かつ低消費電力で管理運用できる可能性がある。懇談会では、「脳に学ぶ」ことで、より良いものとなったネットワークを BFI

(Brain-Function installed Information Network) と名付け詳細な検討を行った。

まず、現在の情報通信ネットワークと脳の仕組みの比較を行う。現在の情報通信ネットワークの最大の特徴は、「全ての装置の振舞いが、あらかじめ決められている」点にある。通常であれば、ルータは、ホップ数や回線の太さなどを元に、運用者の決定したルールに従いルーティングテーブルを構築し、個々の通信はルーティングテーブルで定められたルールごとに振り分けられる。したがって、最初に定めたルールの想定を超える事象が生じた場合には、ネットワークのふくそう、負荷超過による個々の機器のダウンなどの事故が発生する。

その一方で、脳の動きにはあらかじめ定められたルールはない。あえて言えば「全体が最も落ち着いた状態になるように振る舞う」のであり、入力が定まれば出力も一意に定まるということはない。具体的には、神経からの入力により神経細胞が刺激されるとイオンなどが放出され、それを受けた別の細胞がまた反応し、といったことが連鎖的に引き起こされ、最終的には、脳全体が比較的落ち着いた状態に収束し、その間に起こる全ての事象の総和として何らかの信号が幾つかの神経から出力されることになる。すなわち、脳には落ち着いた状態に収束する仕組みがあるということであり、脳を工学的に捉えれば、「脳のポテンシャルエネルギーは、離散的な極小値が存在し、外部からの刺激に応じて状態を変化させている」ということができる。

したがって、脳全体のポテンシャルエネルギーと刺激を定義できれば、当然、脳そのもののシミュレーションが可能となるが、残念ながら現在の脳科学はそこまでは至っていない。しかし、どうやら「揺らぎ方程式」とい

図4 揺らぎ方程式と収束のイメージ（出典：「脳と ICT に関する懇談会 最終とりまとめ」より抜粋）

う比較的単純な仕組みで動作しているのではないかと、ということが分かってきた。

揺らぎ方程式による制御の基本的な考え方は、系に「揺らぎ」を加えることによってポテンシャルエネルギーが低い状態となる確率を高める、というものである。一般に、系のポテンシャルエネルギーが複数の極小値を持つとき、収束する極小値は系がおかれた状態に応じて一意に定まる。揺らぎ方程式では系のエネルギーを表す方程式に「揺らぎ」による外乱項を設け、収束する極小値が一意とならないようにしている。これにより、極小値間での状態遷移が発生し、より低いエネルギー状態となる確率を高めることができる(図4)。

揺らぎ方程式で表現できる単純な系の一つとして、分子モータがある。微粒子は、本来であれば媒質の熱運動(揺らぎ方程式における「揺らぎ」に相当)に起因してランダムに運動するはずだが、分子モータの分子は、そのポテンシャルエネルギーが極小値を持つために、特定の状態を取りやすく、結果として、ある方向へは大きく移動するが他の方向にはあまり移動しないということを繰り返すことで、特定の方向へ移動する。この揺らぎ方程式を一般化した「一般化揺らぎ方程式」により、分子レベルだけではなく、細胞レベルや脳を始めとする臓器レベルの動作についても説明が可能であることが解明され始め、既に自動学習形ロボットの制御への応用研究などが始まっているところである。

懇談会では、このような観点から、揺らぎ方程式によ

る情報通信ネットワークの制御を実現すべく研究開発を進めることを提言した。

2.2 ネットワークを活用した脳活動の把握

「脳のために ICT をツールとして用いることはできないか」という視点で検討されたのが、「ネットワーク形 BMI (Brain-Machine Interface)」である。BMI というのは、脳の状態を測定し、その測定結果を元に脳で何が起きているのかを類推する技術の総称である。研究所などで大規模な測定装置や分析装置を用いたり、極端な例では、脳に直接電極をたくさん差し込めば、当然詳細に脳の状態を把握することは可能になるが、それではとても一般社会で利用することはできない。このようなことから、簡単な装置で測定したデータをネットワーク経由で送信し、大規模な分析システムで脳の状態を類推できれば、BMI をより一般的なものとすることができる(図5)。

BMI について、大まかに分類すると、侵襲形 BMI と、非侵襲形 BMI の二つがある。「侵襲」というのは ICT の関係者は聞き慣れない単語と推察されるが、「生体を傷つけること」を示す医学用語である。すなわち、侵襲形 BMI というのは、利用する際にヒトの体を傷つけるものを指す。例えば、眼球を失った人の脳に電極を指し、ビデオカメラによる映像情報を脳に直接入力する仕組みなどが侵襲形 BMI に該当する。

このように、人が失ってしまった機能を回復するためであれば、ある程度恣意的に人を傷つけることは、他の

図5 主な脳活動計測方法の高度化 (出典:「脳と ICT に関する懇談会 最終取りまとめ」より抜粋)

外科的治療と同様、ある程度までは許容されるかもしれないが、「脳の活動状況を把握する」ために恣意的に人を傷つけることは望ましいことではない。このため、脳活動の把握のためには、人を傷つけない、すなわち「非侵襲」のBMIが用いられる。

非侵襲形BMIに現在用いられている機器は、図5に示したような装置類になるが、基本的に、詳細な情報が取得できる機器は大規模で移動させることすら困難であり、比較的小規模な機器では詳細な測定が困難である。

例えば、fMRI（機能的磁気共鳴画像法）と呼ばれる装置は、非常に詳細なデータが取れるため、人が目で見て画像を再現したり、指をどのように動かそうとしているかリアルタイムで分析したりすることができる、極めて有用な装置である（図6）。その一方で、数テスラという極めて巨大な磁界を発生させるため、当該装置が設置される部屋では金属類の持込みを禁止する必要がある、このような装置を街中で作動させたら、四方八方からくぎや刃物が装置に吸い寄せられ、大変危険なことになる。

一方で、脳波計は、身体検査でも取り入れられるほど簡便な測定方法だが、詳細な情報は把握できない。また、きちんと測定する際には、センサに電気伝導性のあるグリスを塗る必要があるため、測定する度に頭を洗わなければならない、日常的に利用するには相当抵抗感が残る。

これらのことから、BMIを日常的に利用可能とするためには、簡便な装置で脳に関する何らかの情報を取得し、取得された情報のような観測結果があり得るのは脳

図7 ネットワーク形BMIの実用化イメージ
（出典：「脳とICTに関する懇談会 最終取りまとめ」より抜粋）

がどのような活動を行っているときかを逆算する必要がある。すなわち、簡便な装置による測定結果を情報通信ネットワーク経由で大規模なデータマイニング装置に送り込み、該当する活動状況を抽出する、という測定と分析の分離をICTを用いて行うことで、BMIを日常的に利用可能とすることが可能となる。

懇談会では、このような観点から、例えば「念じるだけで動く車いす」を実現すべく研究開発を進めることを提言した（図7）。

2.3 人の意図を容易に伝える

Face to Faceを超えるコミュニケーションを実現する、すなわちコミュニケーションの究極の目標である「伝えたい意味が正しく理解され、人間同士が創造的に協力する」ことを実現するためには、本当に伝えたいことを機

図6 BMIによる脳活動の把握（出典：「脳とICTに関する懇談会 最終取りまとめ」より抜粋）

械に認識させる手段の獲得と、提示された情報を人が的確に理解できるように支援する手段の獲得が必要になる。脳科学が発展することで、人の思考や情動といったことを理解できるようになれば、思いどおりのコミュニケーションが実現できる可能性がある。それを懇談会では、HHS(Heart to Heart Science)と名付け、検討を行った。

本課題のみ、「サイエンス」と名付けられているように、「研究開発」ではなく「研究」ととどまる領域になる。具体的には、脳の活動を把握した上で、なぜ脳がそのように活動しているのか、すなわち「人の理解とは何か」、「人は何を感じ、その結果、何を認識しているのか」を類推可能にしようというものである。

ただし、現段階では、「どのようなときにどこが働いているのか」を知ろうとしている段階であり、今後「働いている部位がどのように働いているのか」、そして「その部位は、なぜそのように働いているのか」を知るべく段階的に探究を深めていくことを、懇談会では提言した(図8)。

図8 HHSの長期的ロードマップ

(出典:「脳とICTに関する懇談会 最終取りまとめ」より抜粋)

2.4 倫理・安全面に関する検討

懇談会では、このような技術開発の方向性だけでなく、倫理・安全面に関する検討も行った。

これは、BMIやHHSといった技術が、「人の内心」に関わる脳活動情報を取り扱うため、研究開発中の被験者に対するプライバシーだけではなく、仮に技術が確立した場合の社会的な悪影響まで含めて、倫理・安全面を検

討する必要があるためである。

しかしながら、自分の脳内で起きていることが客観的に見えてしまう、という現状では通常あり得ないことが起こるため、利用者の精神活動にどのような影響が及ぶのかは現時点では全く分かっていない。このため、現段階で、画一的に倫理・安全面のために遵守すべき事項を定めることも困難である。

このような状況を踏まえ、懇談会では、研究開発に関わる者が自ら「倫理・安全に関するガイドライン」等を策定し公表することが望ましいとした上で、懇談会としては、当該ガイドラインに定めるべき事項や、その大まかな考え方を示すにとどめた。

3 今後の取組み

懇談会の中間報告書を踏まえ、総務省では平成23年度概算要求において「特別要望枠」として「脳の仕組みを活かしたイノベーション創成型研究開発」を要望し、「政策コンテスト」を経て、約10億円の予算を計上することが認められた。

また、ネットワーク形BMIについては、総合科学技術会議の決定する「科学技術重要施策アクションプラン」に平成23年度及び平成24年度の施策として登録され、文部科学省及び厚生労働省の研究開発と連携しつつ、政府全体の重要課題として取り組んでいくこととなっている。

このような研究開発を通じて、我が国そして世界の発展に少しでも貢献すべく、今後とも努力していきたい。

高村 信

平8早大大学院了。同年、郵政省入省。平14情報通信政策局情報セキュリティ対策室課長補佐、平17総合通信基盤局データ通信課課長補佐、平19同局事業政策課課長補佐。平21から情報通信国際戦略局研究推進室課長補佐。