



## 【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞 受賞記)

### エレクトロニクス一般分野

### 「複素振幅を扱うニューラルネットワーク理論の構築とレーダ応用への先駆的貢献」



廣瀬 明 (東京大学)

この度は、栄えある電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ賞を賜り、大変有難く光栄に存じます。推薦・評価くださった先生方・本会皆様方に、深く感謝を申し上げます次第です。またその成果は、これまでの多くの学生達の尽力の賜物であり、研究室皆でいただいたものと考えております。タイトルを一瞥されますと、これがエレクトロニクスだろうか、といぶかしく思われる方も、あるいはいらっしゃるかもしれません。本稿では、そのもととなりました考えと立ち上げの様子、その展開の一部をご紹介させていただきたく存じます。

標記のように、筆者は複素振幅を扱うニューラルネットワーク理論の構築とそのレーダを中心とする応用に関する研究を進めてまいりました。その一連の研究は、電波伝搬・散乱の物理と適応的情報処理の数理を融合するものであると考えています。これまでの電磁界理論の分野が扱ってきたエレクトロニクスを大きく拡張する新しい領域を切り拓いてゆくものなることを願って、これを進めております。

近年、複素ニューラルネットワークやその考えを基にした情報処理は、衛星/航空機搭載の合成開口レーダなど、レーダ・エレクトロニクスにおける信号処理技術としても利用されています。それは、宇宙からの地球観測でもその威力を発揮しています。その概念を図1に示します。地上数百キロメートル上空の人工衛星からマイクロ波を地表に照射し、合成開口技術によって地表散乱の状況に依存した散乱波の振幅、位相、偏波などを観測して、地表の情報を得ようとしています。その際、電波伝搬にともなう回折や屈折、干渉、空間的・時間的な離散化などによりデータに歪が生じます。この物理と計測に依存して歪んだデータから、知りたい地表の真の情報を得るためには、それをより良く推定・予測する技術が必要になります。そこに、電波伝搬の物理を上手に反映するニューラルネットワーク適応処理が大いに役立ちます。それが、波動現象を前提とする表現を用いる、複素振幅ニューラルネットワークです。また同時に、これは適応的に情報を扱うための数理を波動の物理と融合することでもあります。

その成果は広がりつつあります。位相情報に基づく広範で精密な地形変化の計測による火山・地震の災害把握や減災、氷河・極地雪氷や森林バイオマスの観測による地球温暖化監視、偏波情報をアダプティブに利用した穀物収量把握など、現代社会が直面している幅広い課題の解決に資する技術基盤になりつつあります。

1990年代初めに複素数、あるいは複素振幅を扱うニューラルネットワークの研究が日本、米国、欧州のいくつかの研究グループで始まりました。筆者もその基礎を提案する幸運に恵まれました。その際、波動信号処理から将来の量子デバイスまで視野に入れたアイデアとしてこれを提案しました。そしてこの研究を、特にエレクトロニクスとしての展開を重視する立場で推進してきました。

そのきっかけは次の通りです。筆者は、修士課程の学生の時には深宇宙でのフォトンカウンティング光通信の研究を行い、博士課程ではコヒーレント光ファイバ通信の研究を行いました。そして就職した際に、自分にとって全く別の分野に挑戦したいと考え、ニューラルネットワークの分野に興味を持ってその研究動向を調べてみました。

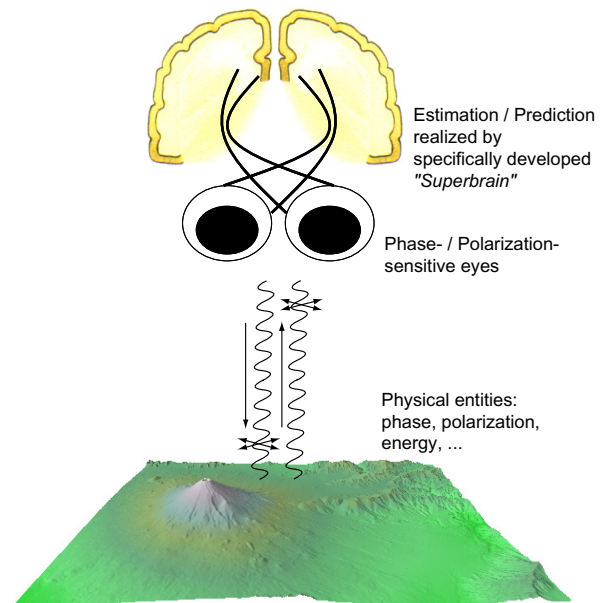


図1 “電波伝搬の物理を取り込んで推定や予測を実現する脳機能を成熟させる”概念図 (A.Hirose, “Complex-Valued Neural Networks, 2nd Edition” (2012) Springer)

ちょうどいわゆる第2次ニューロ・ブームが過ぎ去ろうとしているところでした。漠然とコヒーレント光通信システムへの応用場面を思い浮かべながら、ニューロ適応信号処理の工学的な利用を考えていました。ところが複素情報や複素振幅を扱うニューラルネットワークが存在していないことに気づきました。不思議に思いました。これは、一般に多次元の情報を扱うニューロ分野では、複素数はせいぜい次元を2倍にする程度の意味しかない、と考えられたのかもしれないと想像しました。またニューロ分野は確率統計を極めて太い理論の柱としていますが、初等の統計で複素数が出てくる場面は特性関数ぐらいでしょうか。複数の先輩研究者から、「廣瀬さん、複素ニューラルネットワークはやめておいたほうがいいよ、脳を計っても虚数は出てこないから」と忠告をいただきました。そのため、問題が出れば臨機応変に方向変更しよう、とにかく行けるところまで行ってみよう、と考えていました。ただ直感的には、ニューロの学習で重要な性質である汎化特性などが、複素ニューロと実数ニューロとで明らかに異なるように感じました。そしてそれは、信号の性質や、情報の得られる実世界の物理と深く関係するものだと思われました。

研究室の立ち上げにあたっては、物も無く学生も居ない状況だったので、まずは理論から取りかかる以外にありませんでした。しかしお金が無い時ほどいろいろアイデアが膨らみます。またとりあえずパーソナルコンピュータを購入しシミュレーションも行いました。当時のニューロ研究が未だそのような原始的な取り組みも許していたことは、今思えば、これも幸運でした。当時、およそ次のようなことを思案しました。複素領域での学習理論の基本的枠組みはどうあるべきか、どのような信号情報を本質的な実体として扱うべきか、活性化関数の非線形性はどのようなタイプならば実世界のデバイスやシステムで役立つか、その際にいわゆる Liouville の定理を克服するにはどうしたらよいか、などです。いずれの場合にも、光波、電磁波、電子波などを思い浮かべることによって、理論を構築してゆくことができました。その作業は量子力学の定式化方法との類似性が高く、したがって構築される枠組みの有用性が高いことが予想されて励みになりました。そしてこの分野の世界の多くの研究者らの支援を受け、なんとか形あるものにすることができました。現在、内外の研究者らによって、複素ニューラルネットワークに基づく量子コンピューティングや四元数ニューロなどの研究も進められ、物理と数理の交差する多くの方面に展開されています。

幸いこれら成果は他学会でも高く評価していただいている模様です。IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS) でディスティンディングイッシュト・レクチャーにも選任していただき、講演・交流活動が世界各国の研究者の新たな着想につながっているようです。また拙著 "Complex-valued neural networks" (1st Edition, 2006 / 2nd Edition, 2012, Springer) は、この分野の多くの研究者のご意見・ご批判をいただきながら活用いただいている、微力ながら関連分野の展開に貢献している様子です。

理論的な枠組みはかなり充実してきました。しかし具体的な社会への貢献は未だ始まったばかりです。今回の受賞を励みに、精進したく存じます。またこのような発想がエレクトロニクスソサイエティの研究活動の幅の拡張と新展開にいくばくかでも貢献することを意識しながら研究を進めてゆこうと考えています。この度いただきました評価は望外の喜びです。重ねて感謝申し上げます。

著者略歴：

1987年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程中退学、同年東京大学先端科学技術研究センター助手。東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻、同大学院工学系研究科電子工学専攻を経て、現在、東京大学工学系研究科電気系工学専攻教授。この間1993年～1995年ボン大学（ドイツ）神経情報研究所客員研究員、2006年～2008年宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究本部（ISAS）客員准教授・客員教授を併任。工学博士。主にワイヤレスエレクトロニクス、ニューラルネットワークの研究に従事。光科学技術研究振興財団優秀研究賞（1998）、稲盛財団スカラーズメンバー（2000）、ICONIP Best Paper Award（2004）、本会エレクトロニクスソサイエティ功労賞（庶務幹事/総務幹事（2006）、EMT研究専門委員会幹事（2008））などを受賞。これまでIEEE Geoscience and Remote Sensing Newsletter Associate Editor（2008–2012）、IEEE Transactions on Neural Networks Associate Editor（2009–2011）、IEICE Transactions on Electronics Editor-in-Chief（2011–2012）などを歴任。また現在、IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS) All Japan Chapter Chair（2014–）、IEEE GRSS Distinguished Lecturer（2014–）、日本神経回路学会（JNNS）会長（2013～）、本会エレクトロニクスソサイエティ副会長（編集出版担当、2013～）などを担務。本会シニア会員、IEEE フェロー。