

ACADEMIC FORUM

学術懇話会

2024年度定年退職教員プロフィール

日時 | 2025年2月6日(木)
13:30~17:20

場所 | WEB・会場のハイブリッド開催

会場 | 情報科学研究科棟 2階 大講義室

WEB視聴はこちら ▶



YouTube



Google Meet

主催 | 東北大学大学院情報科学研究科
学術振興委員会



第24回学術懇話会の開催にあたって

本年度末をもちまして応用情報科学専攻から田所諭教授、堀尾喜彦教授そして木内喜孝教授、の計3名の教授の先生方が定年退職されることとなりました。本研究科では、ご退職される先生方の長きにわたる教育・研究に対する「思い」を学生および教員に伝えていただく機会として「学術懇話会」を開催し、研究科の重要な行事として育んでまいりました。

田所諭教授は神戸大学工学部の助手、同助教授などを経て、2005年に本研究科応用情報科学専攻人間-ロボット情報学分野の教授として着任されました。2012年に研究科長補佐、2014年に副研究科長として研究科の運営に貢献されました。2014年から5年間、内閣府 ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」のプログラムマネージャーを務められました。研究面においては、レスキューロボットという未開拓の研究分野を先導し理論と共に実用化にも取り組んでこられました。その成果として2011年の東日本大震災における福島第一原発事故の現場において開発したレスキューロボット「Quince」が、世界で初めて内部の詳細な調査に成功しました。また、ロボティクス分野の最大の国際学会 IEEE Robotics and Automation Society の運営にも長年携わられており、2016年に President としてご就任し、世界のロボティクス分野全体の発展に牽引的な役割を果たされました。

堀尾教授は東京電機大学の助手、講師、助教授、教授を経て、2016年から本学電気通信研究所および本研究科応用情報科学専攻ブレインファンクション集積学講座（協力講座）の教授に就任されました。以来、教務や入試業務などの本研究科の様々な教育研究活動にご尽力され、ご退職される今年の3月までの二年間も応用情報科学専攻長として本研究科の運営に力を注いで下さいました。研究面において堀尾教授は非線形複雑系学術分野のパイオニア的な存在であり、計算速度が要求される学習や意識などの人間の高次な営みが可能となる脳型コンピュータのハードウェア化という難題に挑戦されその実用化に道を開きました。このような成果は今後のAIの発展に必要な不可欠なものであり、多数の受賞と共にその成果は国内外で高く評価されております。

木内教授は本学の大学院医学系研究科助手、附属病院講師、医学系研究科助教授、高等教育推進センター准教授を経て、2012年4月に東北大学高等教育推進センターの教授に昇任されました。2014年4月の組織改組に伴い、東北大学高度教養教育・学生支援機構教授となり、2012年4月からは東北大学保健管理センター長、情報科学研究科応用情報科学専攻健康情報学講座を兼務されております。木内教授は、炎症性腸疾患分野において優れた研究成果を上げ、Top1%論文を発表するなど国際的に高い評価を受けております。また、治療薬の開発においても特許を取得しております。木内教授は保健管理センター長としてもご尽力され、本学の発展に多大な貢献をされました。

ご退職される先生方の研究者や教育者としての「思い」を伝えていただくことを大変ありがたく思っております。この学術懇話会を「最終講義」と呼ばないのは、先生方には今後も引き続き研究科の発展のためにお力添えをいただきたいという思いが秘められているからだということの研究科の先輩諸氏から引き継いでおります。先生方の本研究科へのこれまでのご貢献に感謝申し上げますとともに、今後ともご指導ご鞭撻をお願いする次第です。末筆になりますが、先生方のご健康と更なるご発展をお祈り申し上げます。

第24回(2024年度)情報科学研究科「学術懇話会」

日時:2025年2月6日(木)

場所:WEB・会場のハイブリッド開催

会場:情報科学研究科 2階 大講義室

YouTube 配信 ▶ <https://youtube.com/live/40nZDCScm30> (田所教授/堀尾教授)

Google Meet ▶ <https://meet.google.com/jwq-xzyy-tys> (木内教授)

プログラム

13:30 開会

学術振興委員会委員長 橋本 浩一 教授

講演

13:35 瓦礫の中から世界へ

講演者 田所 諭 教授

紹介 昆陽 雅司 教授

14:50 ブレインモルフィック計算パラダイムとブレインモルフィック計算ハードウェア

講演者 堀尾 喜彦 教授

紹介 坂本 修一 教授

16:05 炎症性腸疾患とともに

講演者 木内 喜孝 教授

紹介 伊藤 千裕 教授

17:15 閉会挨拶

情報科学研究科長 加藤 寧 教授

講演要旨

「瓦礫の中から世界へ」

田所 諭 教授 5

「ブレインモルフィック計算パラダイムとブレインモルフィック計算ハードウェア」

堀尾 喜彦 教授 7

「炎症性腸疾患とともに」

木内 喜孝 教授 8

瓦礫の中から世界へ



田所 諭 教授 (応用情報科学専攻)

阪神淡路大震災を契機として研究開発がスタートしたレスキューロボットは、30年の年月を経て、ようやく実用化の時代を迎えつつあります。その目的は、人間ではできないことを可能にすること、人間にとって危険な作業を代替すること、迅速性を向上しコストを低減することです。緊急災害対応においては、上空からや瓦礫の中で調査を行い要救助者を発見すること、災害復旧においては、危険な土砂ダムの調査や遠隔工事や、膨大な作業の自動化など、災害予防においては、点検により異常を発見して災害を未然に防ぐことなど、がその代表的な用途です。このようなレスキューロボットには、飛行ロボット、地上走行ロボット、脚ロボット、索状ロボットなど、さまざまな形態がありますが、災害現場の情報収集を行う、災害現場で作業を実施すること、がそれらに共通の主たる機能です。

本講演では、講演者が関与したいくつかのレスキューロボットについて、その研究開発が世界に広がっていった経緯や、活用の実績、課題への取組等について紹介してみたいと思います。

講演者は、ロボティクスで世界トップにある国際学会 IEEE Robotics and Automation Society (IEEE RAS) の会長を務めました。それは、如何にして、IEEE RAS がロボティクスの技術的リーダーとして世界のイノベーションの最先端の役割を担い、大きな社会変革の最先鋒となって世界中に価値を創り出せるか、また、そのためにどのように学会組織の構造改革と意識改革を実施すべきか、という課題にチャレンジするという仕事でした。これは、レスキューロボットの分野創成に必要な考え方と、期せずして一致することとなりました。講演では、その一端についても触れてみたいと思います。



図1 福島第一原発事故で国産一号機として使用された地上走行ロボット「Quince」



図2 瓦礫内で情報収集する索状ロボット「能動スコープカメラ」

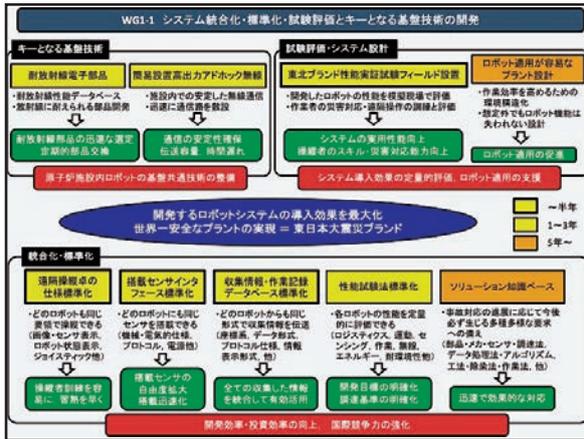
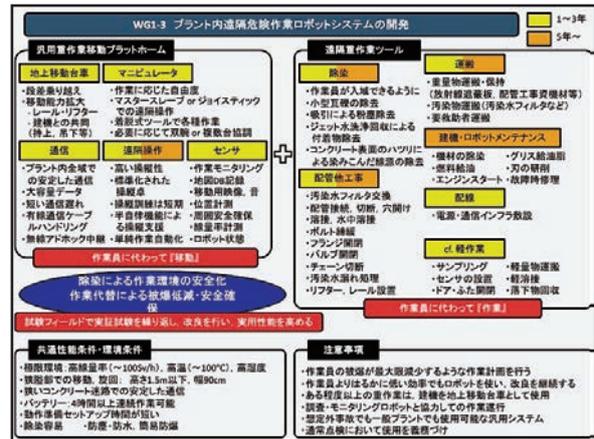


図3 産業競争力懇談会の提言

- ### Expectation to Technical Committees
- Lead the technical areas of robotics and automation
 - Grow and expand robotics and automation, particularly into new areas for the future
 - Provide technical services covering the technical areas to all over the world
 - Enhance RAS member benefits and promote RAS membership
 - Collaborate with other committees and chapters
 - By voluntary activities of TC co-chairs and members
 - Like a miniature IEEE Society
 - TAB supports TCs by promoting good activities

- ### Technical Leadership
- FUTURE: Lead future science and technology
 - PEOPLE: For everyone from students to top researchers, and everyone from practitioners to scientists
 - GEOGRAPHY: On a worldwide scale from developing countries to advanced countries
 - GROWTH: Sustainable growth of leadership, particularly in new countries and regions

- ### Tools for Leading Areas
- Research
 - Conferences, Symposiums
 - Workshops at ICRA/IROS/CASE
 - Organized Sessions at I/I/C
 - Competitions, Exercises
 - Standards
 - Awards
 - Special Issues in Journals
 - Review Papers, Books
 - Software Codes
 - Webpages
 - Magazine, Newsletter
 - Research Projects, etc.
 - Collaboration with Chapters
 - Advisory
 - Governments, Agencies, etc.
 - Companies, Schools, etc.
 - Education
 - Seminars, Summer Schools, Camps
 - Tutorials at ICRA/IROS/CASE
 - Competitions, Exercises
 - Technical Tours
 - Textbooks, Lecture Courses, Exercise Courses
 - Webpages, Newsletter, etc.
 - Collaboration with Chapters
 - Industrial
 - Exhibition
 - Business Forum
 - Job Fair
 - Collaboration with Industrial organizations
 - Management
 - Technical Committee Meetings
 - Technical Activity Board (TAB) Mtg.

図4 IEEE RAS 技術委員会の意識改革

ブレインモルフィック計算パラダイムと ブレインモルフィック計算ハードウェア



堀尾 喜彦 教授 (応用情報科学専攻)

C. Mead は、1990年にアナログ半導体デバイス・回路と生体神経系との動作の類似性に着目して、Neuromorphic Electronic Systems の概念を提唱した [1,2]。彼は、脳計算の基本要素は、電荷やエネルギー保存則、非線形性などを使った物理計算であり、これらはシリコン半導体でも同じように実現できると主張し、神経系と同様な基本計算原理を半導体デバイス固有の物理特性により実装するシステムを、ニューロモルフィックハードウェア (NM-HW) と定義した。その後、NM-HW の概念はどんどん拡大解釈されながら独り歩きし、現在では、生体の計算原理をあまり考慮していない HW や、生物物理や半導体物理を直接使わない、あるいは、物理法則とはかけ離れたソフトウェアによる実装も含めて、一括りに NM-HW と呼ばれている。したがって、元々の概念、すなわち、神経系の計算プリミティブを、半導体物理を基本としたアナログ回路により効率的に実装するという概念はほぼ忘れられてしまった。例えば、高速ではあるが電力効率が悪いデジタルコンピュータ技術を活用した AI 専用のアクセラレータ HW の開発が盛んで、その上に 深層ニューラルネットワークや大規模言語モデルが主にソフトウェアとして実装されている。しかし、計算原理とノイマン型デジタル HW とのミスマッチにより、膨大な電力消費などの社会問題を生んでいる。さらに、脳の複雑な構造や情報処理様式を深く考慮した、本当の意味での脳型 HW は未だ存在しない。

そこで、NM-HW の思想を源流として拡張し、新たに脳の複雑構造と複雑計算の関係に注目し、さらに身体性の重要性を考慮することにより、脳に特異的に創発した情報処理様式を実現するブレインモルフィックコンピューティング (Brainmorphic Computing: BMC) パラダイムを提案した [3]-[8]。さらに、BMC パラダイムを効率的に物理実装するための BMC-HW の枠組みも提案した。

本発表では、構成的研究による BMC パラダイムと BMC-HW の同時開発による相互深化を通して、真の脳型計算を工学的に実現しようとする試みについて紹介する。

参考文献

- [1] C. Mead, Proc. of the IEEE, 78(10), 1629-1636, 10.1109/5.5835, 1990.
- [2] C. Mead, Analog VLSI and neural systems, Addison-Wesley, 1989.
- [3] Y. Horio, Understanding Complex Systems, Springer, 10.1007/987-3-030-10892-2_5, 2019.
- [4] Y. Horio, Proc. Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Appl., 189-192, 10.34385/proc.29.A2L-E-4, 2017.
- [5] Y. Horio, Proc. RISP Int. Workshop on Nonlinear Circ., Com. and Signal Proc., 703-192, 2018.
- [6] 堀尾喜彦、応用物理、88(9), 619-623, 10.11470/oubutsu.88.9_619, 2019.
- [7] 堀尾喜彦、日本神経回路学会誌、25(4), 140-147, 2018.
- [8] 堀尾喜彦、電子情報通信学会誌、107(4), 347-352, 2024

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 20H00596 および 2K18303、東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究 (R05/A19) による。

炎症性腸疾患とともに



木内 喜孝 教授（応用情報科学専攻）

本講演では、これまでの炎症性腸疾患研究の進歩を概観するとともに、私たちのグループがわずかではありますが寄与してきた研究内容についてお話しさせていただきます。

炎症性腸疾患の原因解明に向け、これまで感染症、代謝疾患、老化、単一遺伝病、血流障害など様々な視点から研究が進められてきましたが、その多くは否定されてきました。この状況を打破するうえで、①遺伝子改変マウス、②ゲノムワイド関連解析 (GWAS) の果たした役割は極めて大きかったといえます。

遺伝子改変マウスの研究では、獲得免疫系の異常を導入すると高い確率で腸炎を引き起こすことがわかり、さらに無菌状態では腸炎が起こらないことが明らかになりました。すなわち、腸炎には腸内細菌が不可欠であり、しかも感染症とは異なり、特定の原因菌ではなく複数の細菌でも炎症を引き起こすことが示されました。通常、腸管では腸内細菌の抗原に対して過剰な免疫反応が起こらないよう制御されていますが、炎症性腸疾患ではその制御が崩れ、過剰な免疫反応が生じる、あるいは腸内細菌を異物と認識しても通常は処理可能な異物が処理されず、炎症に至る可能性が示唆されました。ただし、これらの知見はすべて動物実験の成果であり、ヒトでも同様の現象が起こるかは不明でした。

ちょうどその頃、GWASの技術が導入される時代に入りました。当初は欧米の研究成果を拝見する立場でしたが、私たちのグループが中心となって症例を集めた結果、日本人の炎症性腸疾患におけるGWASの結果を得ることができました。その結果、炎症性腸疾患に関連する複数の感受性遺伝子が似た機能を持つことに気付きました。これは、特定の機能に異常が生じることで疾患の発症リスクが高まることを意味し、注目を集めました。代表的な機能として、①オートファジーおよび自然免疫機能、②IL-12/IL-23に関連するシグナル経路、③腸管上皮細胞のバリア機能が挙げられます。興味深いのは、これらの機能が遺伝子改変マウスの研究から得られた仮説と一致していた点です。

現在では、遺伝子改変マウスやGWASで特定された標的分子をもとに治療薬の開発が進められています。モデルマウスや、ヒトを対象とした治験を通じて、それらの仮説が正しかったかどうかを検証している段階にあります。

memo

2024年度 退職教員雑感と プロフィール・贈る言葉

田所 諭 教授 11

堀尾 喜彦 教授 14

木内 喜孝 教授 18

退職を迎えるにあたって ～瓦礫の中から世界へ

田所 諭 教授

1995年に発生した阪神淡路大震災では、6400人を超える人が命を失いました。その時、ロボット研究者が気付いたことは、世界を見渡してもレスキューロボットを研究している人は皆無であり、ロボティクスの論文に災害救助という言葉が登場したことは一度もなかったということでした。

関西在住のロボット研究者を中心とした草の根の調査研究から始まり、その運動は、日本全国はもとより、世界に拡がりました。災害は世界中で発生し、困難な環境は世界中で問題となったからです。それは、科学技術の研究分野として認知されていなかったレスキューロボットを、社会的に重要な課題として、また、ロボティクスのひとつの応用先として、世界の研究者が考え始める、という意識改革を意味していました。世界のレスキューロボットへのチャレンジは、ここからスタートしたと言っても過言ではありません。

世界の研究者が協力した取組の成果は、ロボットが狭い空間に踏み入り、瓦礫をかき分けて内部の状態をセンシングし、空を飛んで災害の概要を撮影し、収集した情報をマッピングすることを可能にし、ロボットは情報収集の道具として発展を遂げました。その技術は産業にも活用され、屋外作業の自動化が進む基盤となりました。

2011年に発生した東日本大震災は、多数のロボットが適用され、一定の成果を上げた、人類の歴史上初めての大規模災害でした。その後、飛行ロボット（ドローン）や、閉鎖空間内調査ロボットなど、多数のロボットが災害対応に使用されるようになりました。それは同時に、困難な環境におけるロボットの技術的・社会的課題を詳らかにすることとなり、災害対応に必要な機能や性能の不足と、配備や制度が不十分であることが問題となりました。そして、ロボットは遠隔で動いてセンシングするだけの機械から、災害対応において必要な情報を自律的に収集し、必要な遠隔作業を行って、救助隊員の安全を確保するための手段として、飛躍的な成長を遂げることが求められているのです。

このようなレスキューロボットの研究分野を創成する上で、世界に向けて小さな石を投げるという仕事を始めることができたのは、ひとりの研究者としては幸いだったのかもしれませんが。このパラダイムシフトにベクトルの方向を同じくして取り組まれた数多くの方々に、深くお礼を申し上げたいと思います。

取組を始めた時点では、全く先が見えない暗闇の中での模索でした。取り組みを進めるうちに、世界は手が届く範囲にあると思えるようになってきました。そして、世界に対して貢献できることは何か、世界はどうあるべきか、そのために何をしなければならないか、を考えることの意義を感じるようになりました。

国際学会IEEE Robotics and Automation Society (IEEE RAS) のPresidentとして行ったSocietyの改革は、年月を経て実を結びつつあります。広く最先端技術の議論と協力の場を提供し、その発展の一助となるための施策を打つような努力をしました。その副産物として、IEEE RASの会員が当時の14,000人から今は20,000人に増えています。共に改革を進め、その後のさらなる改革に繋げて行かれた多くの方々に敬意を表したいと思います。

東北大学は国際卓越研究大学に認定され、これまでもまして世界への貢献を深め、さらなる飛躍を遂げていくと期待されています。世界中の人々が、東北大学に対して感謝をしている、そういう時代が、100年後に来ることを、私は願っています。小さなことに拘泥するよりも、世界のために何ができるかが、今問われていると考えます。

最後に、これまでお世話になった数多くの方々に深くお礼を申し上げますと共に、これからもご指導ご鞭撻を賜りたく、何卒よろしく願いいたします。

田所 諭 教授

応用情報科学専攻 応用情報技術論講座 人間 - ロボット情報学分野
(応用情報科学専攻 教授 昆陽雅司)

田所諭先生は1960年に愛媛県にお生まれになり、東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専門課程修士課程をご修了後、1984年に神戸大学工学部の助手となられ、1993年同学部 助教授に昇任されました。1997年から1年余りフンボルト財団の支援によりデュースブルク大学にて在外研究をされています。また2002年から文科省大都市大災害軽減化特別プロジェクト「レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」の研究代表者を務められるとともに、特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構を設立し、その会長に就任されました。2005年に東北大学大学院情報科学研究科応用情報科学専攻人間 - ロボット情報学教授に着任されてからは、2012年研究科長補佐、2014年副研究科長と研究科の運営にもご貢献される一方、2014年から5年間、内閣府 ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」のプログラスマネージャーを務められました。また、ロボティクス分野の最大の国際学会 IEEE Robotics and Automation Society の運営にも長年携わられており、2016年には代表である President に就任されるなど、研究者間の国際的な連携を促進し、ロボティクス分野全体の発展に寄与されてきました。

田所先生のロボティクスのご研究の出発点は、アクチュエータの権威であった神戸大学名誉教授 高森年先生の元で進められ、パラレルワイヤを用いた駆動や、空気圧、高分子ゲルアクチュエータなど、分布系や柔軟物の駆動制御に取り組まれていました。それらのご経験は、後に柔軟で関節をもたない索状ロボット「能動スコープカメラ」や多数の水噴射で浮上する空飛ぶホース型ロボット「ドラゴンファイヤーファイター」など、独創的なロボットの開発に繋がっています。

1995年の阪神・淡路大震災で被災地を目の当たりにした経験が転機となり、田所先生はレスキューロボットという未開拓の研究分野に挑むことを決意されました。当時は、災害対応にロボットを利用するという発想がなく、「ロボットが人命を救助できる世界をつくりたい」という強い使命感のもと、重機のような力持ちロボットではなく、被災状況の迅速な調査や要救助者の捜索ために、機動性と情報収集能力を重視して研究開発を進められました。その成果の一端として、2011年の東日本大震災における福島第一原発事故では、田所教授の率いるチームが開発したレスキューロボット「Quince」が、建屋内上層階の調査に世界で初めて成功し、危機的状況を打開する役割を果たしました。また、清水建設と共同開発された遠隔操作型の能動スコープカメラは、発電所1号機最上階の内部調査および放射線計測に活用され、その後の瓦礫除去作業に大きく貢献しました。また、プログラスマネージャーを務められた ImPACT プログラムでは、整った環境だけで働くひ弱な優等生ロボットを脱却し、未知の極限環境で作業を達成するタフなロボットをめざして、全国の100名以上の研究者・企業の研究開発を主導されました。

また、田所先生はレスキューロボット普及の課題にも挑まれ、コストや運用の問題を解消するために平時にも活用するインフラ点検ロボットの研究開発や、ロボットの性能を定量化し人材育成にも役立つロボット競技会の活用を提唱されました。世界最大のロボット競技会 RoboCup においては、2002年にレスキューロボットリーグを創設し、実行委員長を務められました。さらに、2018年から始まった経産省および NEDO 主催の World Robot Summit では、インフラ・災害対応カテゴリーの競技委員長として企画の段階から多大な貢献をされています。

教育者として、田所先生は学生の自主性を重んじ、企業との共同研究においても学生が主担当者として活躍

プロフィール
Satoshi Tadokoro

できる環境を整え、若い研究者が自らの力を発揮できるよう、常に温かい眼差しで見守ってこられました。その姿勢は、多くの学生に自信と成長の機会を与えるものだったといえます。また、田所先生は酒豪としても知られており、懇親会や学会後の親睦の場では学生たちと杯を交わし、親しく交流される温かなお人柄が、深く印象に残っています。

田所先生の災害対応ロボットに対する情熱とご尽力は、多くのロボット研究者や実務者に影響を与え、日本国内だけでなく国際的にも災害対応の取り組みを大きく前進させてきました。また、大型プロジェクトの獲得や競技会の立ち上げなど、研究者が挑戦し続けられる環境を整えることにも注力されてきました。このように、研究の裾野を広げることで、分野全体の発展を後押しされてきた功績は計り知れません。その多大なご功績と温かいお人柄に敬意を表し、ここにその軌跡を振り返り、感謝を申し上げたいと思います。これからの新たな旅路が、田所教授にとってさらに実り多きものとなることを、心よりお祈り申し上げます。



2007年 RoboCup 世界大会 @ アトランタ
Quince 開発メンバーと共に



2016年 President を務められた IEEE Robotics and Automation Society
AdCom メンバーと共に



2018年 ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ
第7回フィールド評価会



2023年 研究室合宿の集合写真 (秋保木の家)

ここからだ！アナログ

堀尾 喜彦 教授

ラジオやテレビなど、なんでも分解してしまう子供だった私は、小学校5年生の時、SONY から発売されていた一石トランジスタラジオキットを組み立ててその面白さに衝撃を受けました。そして、真空管アンプや5球スーパーヘテロダイナミックラジオなどの製作に夢中になり、アナログ電子回路の面白さと、一筋縄ではいかない難しさに嵌っていきました。思えば、これが私の研究の原点であったのでしょうか。

慶應義塾大学での研究室選びでは、アナログ電子回路の研究ができるという理由で、最先端のスイッチト・キャパシタ (Switched-Capacitor: SC) 回路にいち早く注目されていた森真作先生の研究室に何とか入れて頂きました。SC 回路は、当時台頭してきた CMOS 集積回路技術でアナログ回路を実現するための技術でしたが、そのころの日本では学生が気軽に集積回路を作ることができなかつたため、実験は個別部品回路で行いました。手作りでの電子回路製作や実験により、いわゆる「回路の勘」が養われましたが、近年では電子部品もブラックボックス化し、さらには、学生でも集積回路が製作できるようになったため、回路の勘を身につける機会が少なくなり、回路オタクが絶滅危惧種になってしまったのは、憂うばかりです。

博士課程の時、米国コロンビア大学に在学していた陶山研さんとある国際会議で仲良くなり、彼が中心となって開発し、当時からデファクトスタンダードとなっていた SC 回路網解析プログラムである SWITCAP を無償提供してもらい、アナログ集積回路の設計に本格的に参入しました。この頃までは、いわゆる「線形」アナログ電子回路の設計に全力を尽くしていましたが、これが就職を機に大きく転換しました。

1986年の末に東京電機大学の採用面接を受けた際、一人の先生から立て続けに質問を受けました。その人こそ、私を「非線形」沼に引き入れ、さらにカオスや複雑系、ニューラルネットワークや脳型計算の世界にいざなつた合原一幸先生(当時、東京電機大学講師、現東京大学特別教授)でした。

当時は1980年代初頭に始まった第2次ニューラルネットワーク (NN) ブームの真っ只中でしたが、NN の構成要素である人工ニューロンは基本的には時空間積分器ですので、アナログ電子回路でこれを実現することは自然な選択でした。時同じくして、米国では C. Mead が、アナログ集積回路で生体神経回路網を模倣する Neuromorphic Electronic Systems (1990) を提唱し、アナログ回路による低消費電力な NN 回路が一大ブームとなりました。つまり、生体ニューロンのように、連続時間・連続値の状態変数を高いエネルギー効率で扱えるアナログ回路やデバイスが NN ハードウェアの主役でした。

一方、その頃カオス研究も盛んになっていました。そこで、生体ニューロンが示す複雑なカオスの応答を集積回路で再現するため、合原先生が提案したカオス NN モデルを SC 回路によって集積回路化しました(図1)。ちなみにこれは、世界初の完全集積回路化されたカオス発生回路ともなりました。

さて、カオスの本質は何でしょうか？ それは、実数が持つ複雑性です。すなわち、連続値・連続時間が扱えることが必須です。これらをデジタル計算機で扱うことはできません。もちろんアナログ回路でもノイズが不可避なので、数学的なカオスとは異なります。しかし、カオス力学系であれば、実数の複雑性が軌道不安定性によりシステムレベルまで指数的に拡大されて表出するので、アナログ回路でもなんとかなりそうです。その際、時系列そのものを使うのではなく、構造安定なアトラクタや高次元空間での遍歴現象などを使えば、アナログ回路でノイズ付きカオス計算ができるのではないかと考えました。ここで重要な点は、非線形系が全体のダイナミクスとして持つロバスト性や、素子ばらつきやノイズなどの揺らぎを活用して性能を向上させるということです。嬉しいことに、アナログ回路ではノイズやばらつきを自然に導入できます。

ちょうどこの時期、サンタフェ研究所に端を発した「複雑系の科学」が勃興し、私の研究にとっても追い風となりました。すなわち、生体脳や目指していたハードウェアが、全体として非線形で高次元な複雑系であり、

さらに、その系は多数のニューロンやシナプスからなる複雑ネットワークを構成していたからです。これは、後述するブレインモルフィックコンピューティング (Brainmorphic Computing: BMC)ハードウェア研究へと繋がっていますが、ここでも、アナログ回路やデバイスが必須です。

時は過ぎ、近年、第3次 AI ブーム、第3次ニューロブームが活況を呈し、深層学習や大規模言語モデルなどの AI の急速な発展には目を見張るものがあります。これらを実装するためのハードウェアや AI アクセラレータ回路の開発も盛んで、世間ではニューロモルフィックハードウェアと総称されています。いやいや待てよ、それはおかしい。そもそも C. Mead のニューロモルフィックとは、生体ニューロンの生物物理を半導体物理で直接置き換えよう、そして、アナログ回路を使って効率的な非ノイマン型ハードウェアを作ろうというものでした。現在のニューロモルフィックハードウェアは、依然ノイマン型の延長で、ほぼデジタル回路です。このため、脳型の計算とのミスマッチが顕在化し、例えば、電力ひっ迫などが大きな社会問題となっています。これはまずいということで、原点に戻って、私は BMC とそのハードウェアの概念を提案しました。

脳は典型的な非線形複雑システムで、ニューロンやシナプスは連続な状態変数を持つアナログ素子です。ニューロン・シナプス自体の確率的挙動に加え、脳内には様々なノイズが存在し、個々のニューロンやシナプスの特性も多様でばらついています。脳の精緻で高性能な脳特異的情報処理は、これらによる複雑構造と複雑時空間ダイナミクスによってこそ可能となったものです。

提案した BMC とは脳型計算のパラダイムであり、脳神経系の解剖学的、生理学的な構造や仕組みを模倣し、物理的な『プロセス』（アルゴリズムでなく）によって情報処理を行うものです。これをハードウェアとして実装する際には、脳を構成する要素と類似した特性やダイナミクスを呈するデバイスや回路の物理的・動力学的な性質を「直接的に」活用して、生物物理をデバイス物理で模倣・再現する必要があります。すなわち、アナログ回路やデバイスが必須なのです。この際、脳が進化的に発達させた複雑な神経回路構造の核となるマルチレイヤー、マルチスケール、マルチフィードバック、マルチ時定数構造を再現し、その上に、脳が創発した高次元複雑時空間情報処理を載せる必要があります。これにより、現在のデジタル計算原理とノイマン型ハードウェアから、計算原理とハードウェアの両方を同時に脳型に転換することで、テクノロジーに頼ることなく、自然に（脳のような）超低消費電力で小型かつ高性能なハードウェア、すなわち、BMC ハードウェアを実現することができるのです。ここでの高性能とは、現在のデジタル計算機の意味での性能ではなく、脳が持つ独特な情報処理様式のことです。

デジタル回路は main technology、アナログ回路は key technology と言われてきました。真の脳型計算のためには、アナログデバイスや回路が重要な役割を果たすでしょう。脳は非同期的に動作するアナログ要素でできており、連続時間・連続値の高次元複雑時空間ダイナミクスによる情報表現と処理を行っているからです。さあ「ここからだ！アナログ」と叫びたいのは私だけでしょうか。

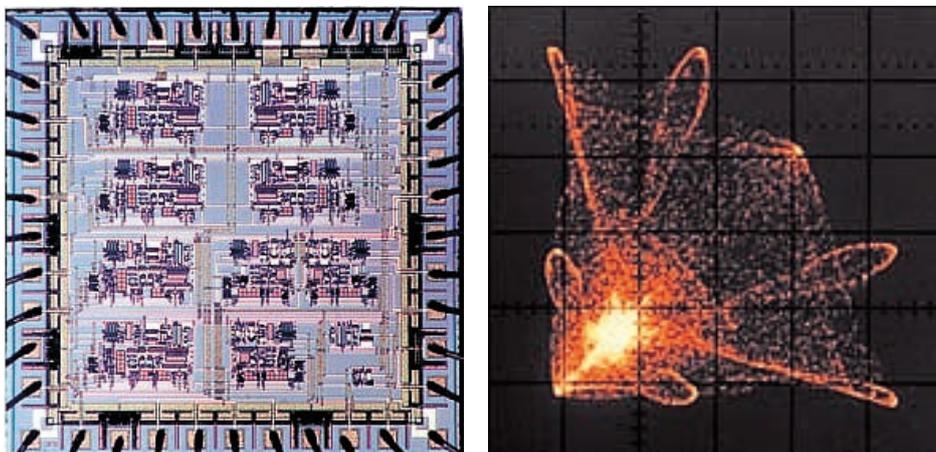


図1 (左) 世界初の SC カオスニューロチップ(1993)。(右) チップから観測されたカオスアトラクタの例。

堀尾 喜彦 教授

応用情報科学専攻 ブレインファンクション集積学講座 ブレインファンクション集積学分野
(システム情報科学専攻 教授 坂本修一)

堀尾喜彦先生は1959年に岐阜県にお生まれになり、1982年に慶應義塾大学工学部をご卒業後、1987年に慶應義塾大学大学院工学研究科にて工学博士を取得されました。博士号取得後は、東京電機大学にて助手、講師、助教授、教授と昇任され、2016年から東北大学電気通信研究所および本研究科応用情報科学専攻ブレインファンクション集積学講座(協力講座)教授にご就任されました。この間、1992年から1994年まで米国コロンビア大学客員教授、1993年から2002年まで米国 Epoch Technologies 社副社長をご兼任されております。また、東北大学に教授としてご着任後は、教務や入試業務などの本研究科の様々な教育研究活動にご尽力いただき、2023年4月から2025年3月まで本研究科応用情報科学専攻長として本研究科の運営にも力を注がれました。

堀尾先生のご専門は、非線形アナログ VLSI によるニューロモルフィックハードウェアのご研究です。これは、脳や脳内の神経回路網などの脳の「アーキテクチャ」を規範として新たにハードウェア化していくものであり、学習や意識などの人間の高次な営みが可能な脳型コンピュータの実現に直結するご研究になります。堀尾先生はこのようにともチャレンジングな課題に一貫して取り組まれ、特に連続時間・連続値や高次元複雑ダイナミクスによる情報処理様式のハードウェア化に顕著な成果を挙げられました。例えば、カオスを呈する電子回路の完全集積回路化に世界で初めて成功し、複雑系集積回路の端緒を開き、さらにこれを発展させたカオスニューラルネットワーク集積回路により無意識・意識ハイブリッド計算ハードウェアを実装されました。このハードウェアは、2次割当問題の解法において当時世界最高性能を誇る性能をたたき出しております。また、これらの知見を発展させ、脳型計算の新しいパラダイムとしてブレインモルフィックハードウェアの枠組みを世界に先駆けて提案するなど、この分野における第一人者として世界でご活躍されました。

また堀尾先生は、現在世界的なブームとなっているリザバー計算に関しても、カオスニューラルネットワークリザバーを世界に先駆けて提案し、その時系列予測性能や音声認識性能の高さを示されました。このカオスニューラルネットワークリザバーは、実際に3次元積層 VLSI として実装に成功されるなど、単に理論研究にとどまらず、まさにハードウェア実現まで手がけられました。さらに、海馬の時空間学習モデルの改良と記憶性能評価法を提案し、時空間情報がシナプス重み空間中にフラクタルコーディングされていることも世界で初めて発見されました。このような脳内のメカニズムをハードウェア化すべく、スパイクングニューロン集積回路を提案・実装し、世界でもトップクラスの低消費電力性能を達成すると共に、カオスをも含む様々なスパイク発火パターンの実現にも成功されています。これらのブレインモルフィックハードウェアに関する成果は、膨大な消費電力やビッグデータの必要性、長大な学習時間などの現行の AI の弱点を解決するために必須であるとともに、より脳に近い情報処理を実現するために重要となります。これらの一連のご研究は、近年成熟期を迎えつつある AI 技術を今後革新的に発展させていく上での先駆的なものとして、今後さらに注目されていくものと考えております。

このように非線形複雑系学術分野において多大な成果をあげられた堀尾先生は、この分野の第一人者として、ブレインモルフィックハードウェアの重要性や創造性を多くの解説論文や国内外の学会における招待講演など

プロフィール
Yoshihiko Horio

を通して広く世の中に示され、研究分野の発展、後輩の育成にご尽力されてきました。これら一連のご研究が認められ、ブレインモルフィックハードウェア研究の成果に対し電子情報通信学会からフェロー称号が授与されたほか、Distinguished Lecturerにも4年連続で選出され、国内外の学術会議において複数の論文賞を受賞するなど高い評価を受けておられます。また堀尾先生は多彩な趣味もお持ちであり、特にスキーはとてもお上手で毎年研究室の学生のみなさんと合宿にいかれるというお話をお聞きしています。このようなお話から、学生の皆さんにも慕われている堀尾先生の一面も垣間見られます。

堀尾先生の数々のご業績に深く敬意を表するとともに、東北大学大学院情報科学研究科でのご貢献に深く感謝申し上げます。これからも引き続きアカデミアの世界で継続的にご研究を続けるとともに後進の育成にご尽力されると伺っております。今後ともご指導・ご鞭撻をお願いするとともに益々のご活躍・ご健勝を心より祈念いたします。



The 2024 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2024)における基調講演のご様子



研究室ゼミでの一コマ



研究室メンバーとの焼き肉パーティー



研究室スキー合宿にて

臨床と研究の狭間で

木内 喜孝 教授

1978年に東北大学に入学して以来、47年間もの長きにわたり東北大学にお世話になりました。その間には多くの恩師、先輩、同輩、後輩にお世話になりながら大学生活を無事過ごすことができました。これらの方々、さらに大学及びその関係者には感謝の念に堪えません。本稿では過去を振り返りながらこれまでの活動を書き残しておこうと思います。

臨床医を目指す

生まれも育ちも医療過疎であった秋田でしたので、医師＝臨床医であることを疑う余地もなく、1984年大学卒業後に秋田県平鹿総合病院の研修医として社会人をスタートしました。2年間くらい研修をすると common disease については一通りの診療は行えるようになり、かなり自信も付きます。そんな時に、指導医から半年間診断がつかない発熱を症状とする小学生を担当するように言われました。これが、私の研究テーマであった炎症性腸疾患との出会いでした。炎症性腸疾患は当時全国でも罹患者が数千人くらいの稀な病気で（現在は40万人くらい）、周りには診療した経験をもつ医師もおらず、当然診断もできませんでした。腸に炎症があることは分かりましたが、それ以上の診断ができず、当時腸疾患診療の第一人者であった樋渡信夫先生が母校におられることを医学雑誌で知り、大胆にも症例相談としてお手紙を送りました。突然送り付けた不躰な手紙にもかかわらず、後日学会会場でお会いした折にその症例は炎症性腸疾患と確定診断できることを詳しくご指導頂きました。その縁もあり、その後長きに渡り樋渡信夫先生にご指導を仰ぐことになりました。

学位取得までの道のり

1987年に医学部研究生となってから日中は大学病院で診療を行い、夕食後から研究を行う生活スタイルを1996年に学位取得するまで続けました。その間1年間だけ薬学部分析化学教室（南原研）の後藤順一先生に分析化学や研究のイロハについてご指導頂きました。その薬学部ではかなりカルチャーショックを受けました。何に驚いたかという、学生を含め若手研究者が朝から研究に没頭している事でした。今から考えると、臨床と研究の両方をこなす大学病院の方がクレイジーな環境だったとすぐ理解できますが、その当時はかなり驚きました。その時直ぐ理解できたことは同じ土俵で基礎研究をしても勝ち目はないということでした。同時に以降の研究は必ず「臨床医にしかできない研究」をキーワードとすることを決意しました。薬学部から医学部付属病院にもどり、分析化学の手法を用いて炎症性腸疾患の研究を続けたのですが、なかなか自分で納得できる研究結果は出ませんでした。その頃丁度、日本においてもPCRやnon-RI（RI:ラジオアイソトープ）によるサザンブロット、ノーザンブロットができる試薬が売り出されたこともあり、ヒト検体を用いた遺伝子解析が臨床教室でも可能になりました。これがやってみるとかなり面白くて止められなくなってしまいました。1996年に当時RIが全盛で合った時に、non-RIのサザンブロットというかなり珍しい手法を使って（病棟の患者さんを診ながら同時に実験するには、病棟から遠いRI実験棟では無理だったことが理由です）腸粘膜のテロメア長が炎症性腸疾患における発癌のバイオマーカーになるという趣旨の学位論文を提出し受理されました。今思い起こすと、私のこの時期はただの分子生物学的実験手法が好きな技術者だったのかもしれませんが、なにより実験が好きだったということは研究を続けるための重要なファクターだと思います。

炎症性腸疾患感受性遺伝子解析を始めた理由

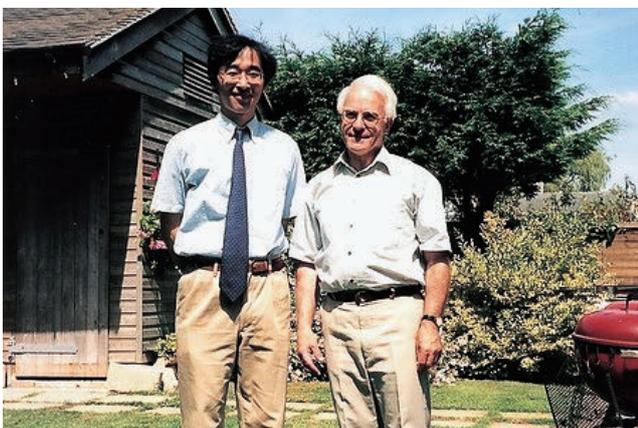
学位論文の実験を行いながら炎症性腸疾患の患者さんの診療も継続していました。当時の治療は上司の樋渡信夫先生らが開発した治療法で、普通食を中止して、窒素源がアミノ酸からなる成分栄養剤を投与する治療でした。この成分栄養療法は腸の炎症を効果的に治めてくれる良い治療法だったのですが、さすがに長期間絶食を継続することはできないので、成分栄養療法を8週間続けた後に普通食の摂取に切り替えることになります。そうしますと数ヶ月で炎症が再燃し、結局長期的な予後(累積手術率を用いて判断します)を解析すると、成分栄養療法では長期予後は改善しないという難題に直面することになりました。よかれと思ひ患者さんに勧めた治療が短期予後は改善しても、長期予後は改善しなかったという事実は臨床医としてはメンタル的にダメージを受けました。やはり病因論に迫る研究をしないと新しい治療法は生まれないと確信し、「臨床医にしかできない研究」で病因論に迫れる研究はないかと探したところ感受性遺伝子検索に行きつきました。当時私たちの外来が東日本で最も多くの患者さんを診療していたこともあり、対象者のリクルートは可能で、候補遺伝子を絞れば解析技術的にもPCRをベースにして臨床教室でもできることから、始めることにしました。このやっぱり病因論に迫る研究をしないといけないというモチベーションを臨床の場から得られたことが研究を続けていくうえで重要だったと思います。

まさか東北大学で全ゲノム関連解析 (GWAS) ができるようになるとは！

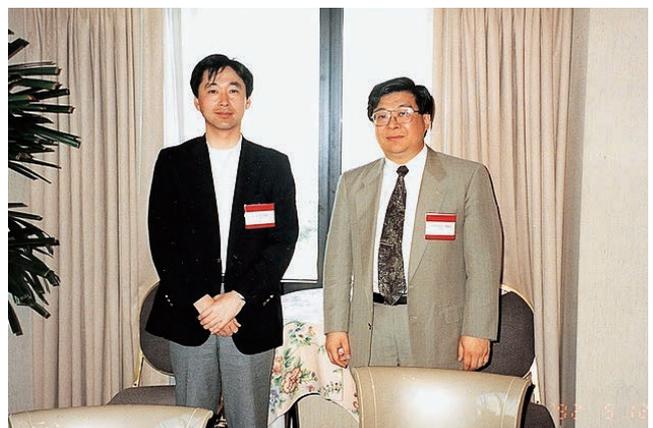
1990年後半から候補遺伝子解析を行い、それなりの論文を発表することができました。しかし2005年を境にGWASが解析法として主流になり、臨床教室では太刀打ちできない状況となりました。さらに2011年の東日本大震災が起り、研究室も大変な損害を受けてしまいました。その後東北メディカル・メガバンク事業が開始されGWASが学内でできるようになったのは、本当に不幸中の幸いでした。そのお陰で、私を含め多くの後輩が、GWASを含めて炎症性腸疾患の病因に迫る研究ができたと思います。最後は巡りあわせも大切であるということでしょうか。

最後に

長々と書いてしまいましたが、炎症性腸疾患学についてご指導頂きました樋渡信夫先生、37歳まで学位を取得しない助手を、寛大な心で研究継続を許可して頂いた豊田隆謙教授、研究が進展するように常に激励を頂いた下瀬川徹教授、また多々お世話になりました情報科学研究科の皆様のご発展を祈念いたしまして、退官のご挨拶とさせていただきます。有難うございました。



Jewell 教授と



樋渡信夫先生と

木内 喜孝 教授

応用情報科学専攻 健康情報学講座 健康情報学分野
(応用情報科学専攻 教授 伊藤千裕)

木内喜孝先生は1959年、秋田県秋田市にお生まれになり、1984年3月に東北大学医学部を卒業されました。その後、1984年5月から秋田県厚生連平鹿総合病院で初期研修を開始されました。この研修期間中、発熱と下痢が半年間診断できない小学生の症例を担当されました。検査の結果、腸の炎症が確認されましたが、診断は困難でした。そのため、腸疾患診療の第一人者であった東北大学第三内科の樋渡信夫先生に直接相談され、最終的に日本では当時稀少な炎症性腸疾患と診断されました。この経験がきっかけとなり、木内先生は樋渡先生を師と仰ぎ、炎症性腸疾患の専門医を目指すことを決意されました(当時は研究者になるとは思っていなかったそうです)。

1987年5月には東北大学の研究生として診療を行い、1988年には東北大学薬学部分析化学(南原研究室)に1年間内地留学され、新規脂肪酸分析法について後藤順一先生の指導を受けられました。また、分析化学の基礎についても学ばれました。その後、1990年10月より東北大学医学部附属病院医員、1993年8月には同助手に就任されました。1996年には「Telomere shortening in the colonic mucosa of patients with long-standing ulcerative colitis」で博士(医学)を取得されました。1999年2月には、Oxford UniversityのDP Jewell教授のもとでVisiting Researcherとして炎症性腸疾患の感受性遺伝子解析に従事されました。帰国後、2000年9月から東北大学大学院医学系研究科助手を務められ、2001年8月には東北大学医学部附属病院講師、2003年4月には東北大学大学院医学系研究科助教授、2009年4月には東北大学高等教育開発推進センター准教授を経て、2012年4月には教授に昇任されました。2014年4月の組織改組に伴い、東北大学高度教養教育・学生支援機構教授となり、2012年4月からは東北大学保健管理センター長、情報科学研究科応用情報科学専攻健康情報学講座を兼務されております。

木内先生は、炎症性腸疾患分野において数多くの研究成果を挙げられ、白壁賞や黒川賞などの受賞歴をお持ちです。炎症性腸疾患は、原因不明の慢性炎症が腸に起こる疾患で、クローン病と潰瘍性大腸炎の2つに分類されますが、現在も治癒する治療法がない厚生労働省認定の難病です。主に10代後半から30歳代までが好発年齢であり、過去40年間で日本での有病者が約100倍に増加しているため、社会的な対策が必要な疾患の1つとされています。

木内先生の研究成果は大きく3つの領域に分けられます。1つ目は、炎症性腸疾患の病因・病態を明らかにするための感受性遺伝子解析です。ゲノムワイド関連解析(GWAS)が一般化する以前から、TNF α 遺伝子(Gastroenterology 1999)や第6染色体短腕の約0.5Mb領域(Gene & Immunity 2004)が炎症性腸疾患の感受性領域であることを発見し、報告されています。2009年には、クローン病感受性遺伝子TNFSF15の感受性に影響を与える分子機序を初めて解明し報告されました(Human Molecular Genetics 2009)。また、炎症性腸疾患の感受性遺伝子における人種差を初めて明らかにし、この分野で世界的に高い評価を得られています(Gastroenterology 2002, Top1%論文)。さらに、日本の研究施設の協力を得て、日本の炎症性腸疾患を対象としたGWASを実施し、新たな感受性遺伝子を複数発見されています(Nat Genet. 2009, J Crohns Colitis. 2019, Inflamm Bowel Dis. 2020)。最近では、欧米とアジアの炎症性腸疾患における遺伝的背景の違いをGWASレベルで明らかにし報告されています(Nat Genet. 2023, Top1%論文)。

2つ目の領域は、炎症性腸疾患における癌化に関する研究です。炎症性腸疾患患者が10年経過すると大腸癌の高リスク群になることは知られていましたが、その機序は不明でした。木内先生はモデルマウスを用い、慢性炎症が大腸粘膜の遺伝子変異を蓄積させることを明らかにしました(Carcinogenesis 2006)。また、テロメア長測定が癌化のリスク評価に繋がることを示され(J Gastroenterol 1998)、現在も有望なバイオマーカーと

プロフィール
Yoshitaka Kinouchi

して注目されています。

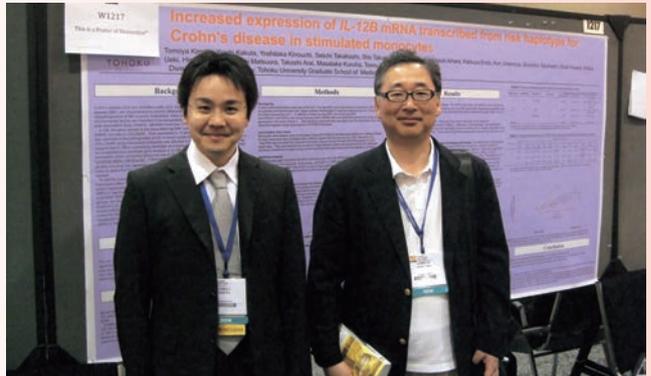
3つ目は治療に関する業績です。1980年代まで炎症性腸疾患の治療薬は副作用の強いステロイドホルモンしかありませんでしたが、木内先生はランダム比較試験を行い、成分栄養剤の有効性を報告されました (AP&T 2006)。炎症性腸疾患分野では日本初のランダム比較試験であり、そのお陰で現在は世界中で治療薬として成分栄養剤が使用されています。また、アザチオプリンの副作用対策としてコンパニオン診断薬を開発し、特許を取得されています (Pharmacogenomics J 2016)。

さらに、木内先生は保健管理センター長としても多大な貢献をされています。感染症対策では、新型インフルエンザ、ジカ熱、SARS、中東呼吸器症候群、エボラ出血熱、そしてCOVID-19において、感染対策の提案から実務まで尽力されました。また全国大学の定期健康診断の標準化やガイドライン作成にかかわり、2019年に国立大学施設協議会から「大学における健康診断・健康関連情報の標準化についてのガイドライン」を発表し、大学の定期健康診断の在り方について提言を行っております。さらに保健管理センター業務のDXについても力を入れ、定期健康診断、放射線健診のペーパーレス化、自動発行機からの診断書発行、放射線個人管理システムに関する健康診断システムの開発等について、すべてプログラミングを含めて自らシステムを構築され運用されております。

木内先生の数々のご業績に深く敬意を表するとともに、東北大学での多大なるご貢献に感謝申し上げます。今後ともご指導・ご鞭撻をお願いしつつ、益々のご活躍とご健勝を心よりお祈り申し上げます。



研究室歓迎会



国際学会で



実験室で



樋渡信夫先生と

memo

