

生体EMC特集

01 巻頭インタビュー

電波にさらされる人体の 安全性を確保する生体EMC

現代生活に欠かせない“電波を発する機器”の安全基準を日本から

渡辺 聡一

05 人体内部の電波吸収量を推定するための
数値人体モデル

様々な電波利用状況下に対するきめ細やかな安全性評価

長岡 智明

連載企画 未来のネットワークを創る (第3回)

07

新世代ネットワーク研究開発ターゲット
「地球にやさしいネットワーク」
村上 誉／川村 龍太郎

08

新世代ネットワーク研究開発ターゲット
「新世代ネットワークファンダメンタルズ」
成瀬 誠／小嶋 寛明

09

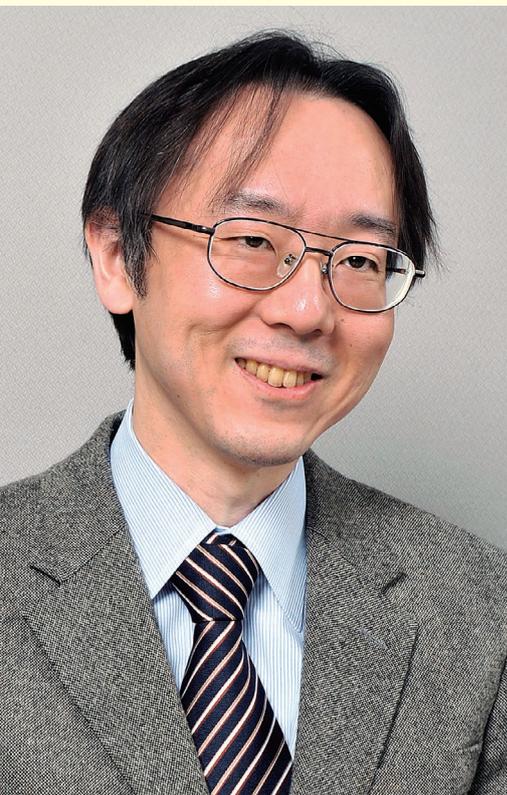
●研究者紹介

ロバストなネットワーク制御と自律システムの構築を目指して
生命システムに学ぶ新世代ネットワークの原理設計
劉 健勤

11

開催報告
「第2回日米新世代ネットワークワークショップ」
—新世代ネットワークの実現に向けて日米の協力強化—





電波にさらされる人体の 安全性を確保する 生体EMC

現代生活に欠かせない “電波を発する機器”の安全基準を日本から

渡辺 聡一 (わたなべ そういち)

電磁波計測研究センター EMCグループ 研究マネージャー

東京都立大学大学院修了後、1996年郵政省通信総合研究所(現NICT)に入所。
生体電磁環境に関する研究に従事。博士(工学)。

携帯電話をはじめ、パソコンや携帯ゲーム機の無線LANなど、現代の生活において、様々な場面で電波が利用されています。こうした状況の中、NICTでは電波の環境問題の1つとして、人体が電波にさらされたときの安全性について研究を進めています。

電波が人体に与える影響を “測る”技術を開発する

——生体EMC (Electro-Magnetic Compatibility) プロジェクトで取り組んでいる研究テーマは、どのようなものなのでしょうか？

渡辺 現在、私たちは「電波防護指針に基づく適正かつ健全な電波利用環境の構築」という目標を掲げており、そのために大きく分けて3つの研究を進めています。

一番大きいのが、「高精度な曝露(ばくろ)評価技術に関する研究」です。電波の安全性を調べるためには、電波にさらされた人体のどこにどれだけ電波エネルギーが吸収されたかを正確に調べることで、つまり「曝露評価」が必要です。そのための技術を開発しています。

代表的なのは、高精度な数値人体モデ

ルの開発です。数値人体モデルとは、人体の組織や臓器の形状を微小な要素の集合体として表現したものです。実際に人体に電波を当てて実験をするわけにはいきませんので、電波が人体に吸収される様子を、コンピュータを使ってシミュレーションできるようにしたのです。

この研究が始まった当時は、日本人の平均体型からはかけ離れた米国人男性のモデルしか利用できませんでした。そこで、2000年頃に、MRIの画像をベースに日本人の成人男女のモデルを作ったのです。特に女性モデルは、ミリメートルの空間分解能を有する全身数値人体モデルとしては、世界でも初めての開発でした。——日本人にとって現実的なモデルができたわけですね。

渡辺 その後、小児モデル、胎児まで作りこんだ妊娠女性モデルを開発し、現在、これらは非営利目的では無償、営利目的では有償で公開されています。

他の2つの研究は、この曝露評価技術に関する研究をバックグラウンドとしたものです。1つは「電波防護指針値の適合性評価技術に関する研究」、もう1つは「医学・生物実験のための曝露装置の開発および曝露評価に関する研究」です。

——では、まず「電波防護指針値の適合性評価技術に関する研究」の概要について伺えますか。

渡辺 現在、携帯電話をはじめとしているいろいろな無線機が使われているのです

が、無線機をメーカーが開発して商品として実際に市場に出すときには、法律で定められた電波の安全基準を満たしていることを確認しなければなりません。この時、どこで誰が測っても同じ結果が出るような評価方法でなければなりません。そのためには、評価方法がある程度簡便でなくてはならないし、再現性も良くなければならないのです。そういった条件を満たす評価方法を作るための研究ですね。また、評価方法が、国ごとに異なっているのは困ります。つまり、国際標準化というのが非常に大切なのです。そのため、ITU (国際電気通信連合) や IEC (国際電気標準会議) といった国際標準化団体の標準化活動に寄与する研究となっています。

——具体的には、どのような技術開発をされているのでしょうか。

渡辺 例えば携帯電話の端末における安全基準の指標は、人体各部に吸収される単位質量当たりの電力、すなわち比吸収率 (SAR: Specific Absorption Rate) です。このSARの測定方法は2005年に国際標準化されているのですが、それは基本的には頭のそばで使う場合だけに適用されます。しかし最近ではポケットに入れたままBluetoothのヘッドセットで聞くこともあって、その時、携帯電話は胸ポケットや腰のポーチなどに入っています。また、PDAもありますし、ラップトップパソコンをひざの上に置いて使用

することもあります。パソコンには無線LANが付いていますので、電波が出ている場所として想定する箇所が、頭の側だけではなく増えてきているのです。

そういう端末を私たちはBody worn（身体の側で着る）端末と呼んでいるのですが、身体の側のいたるところで使われる無線端末に対する測定方法の標準化も、今まさに最終段階に来ているところです。これへの対応も私たちがしなければならぬことなのです。

—測定はどのように行うのでしょうか。

渡辺 SARの測定は、ロボットアームの先に電界プローブというセンサーを付けて行います。このセンサーの較正（測定している電界とセンサーからの出力信号を正確に関係づけること）が、NICTの仕事です。日本でこの較正を行っているのはNICTのみなのです。つまり、NICTで較正したセンサーを使って、日本で実際に販売されている携帯電話の安全性評価が行われているというわけです。今度、新しい測定方法が標準化されると、測定する周波数が増えます。周波数が増えれば、それぞれの周波数に対応した較正システムの開発や整備をしていかなければなりません。

—次に、「医学・生物実験のための曝露装置の開発および曝露評価に関する研究」について伺えますか。

渡辺 これまでお話した研究とは少し性質が異なる研究です。

現在使われている電波の安全基準は、過去の研究成果に基づいて作られてきたものです。ところが、電波の利用形態は時代とともに変化していて、例えば、以前は使われていなかった周波数帯を使っていたり、安全基準が策定されたときには想定していない使われ方をされていたりします。そのように、電波の利用形態が変化しても、これまでの防護指針で問題なく防護できるのかを確認するために、動物実験や人を対象とした疫学調査などが必要とされています。それらの研究に対して、動物に電波を当てる装置を開発するなどの工学的な側面からのサポートを行っています。

例えば、疫学調査では、がんになった人となっていない人について、過去にどれだけ携帯電話を使っていたかといったことの履歴を調べて、実際の電波の曝露量としてはどれくらいの差があるのかなどを調べなければなりません。私たちのグループは、そういった研究に参加しています。

—NICTでも実験を行ったそうですが、どのようなものだったのでしょうか。

渡辺 過去には「ラット頭部への電波局所曝露実験」という実験を名古屋市立大学医学部と共同で行いました。これは脳腫瘍の発がん性について調べた実験です。脳腫瘍というのはなかなかできない病気なので、ねずみ500匹を使ってねずみの一生に相当する2年間にわたり電波を当て続け、当てた群と当てていない群とを比較するというのをしました。結果は、電波の有無で発がん性に差は見られませんでした。

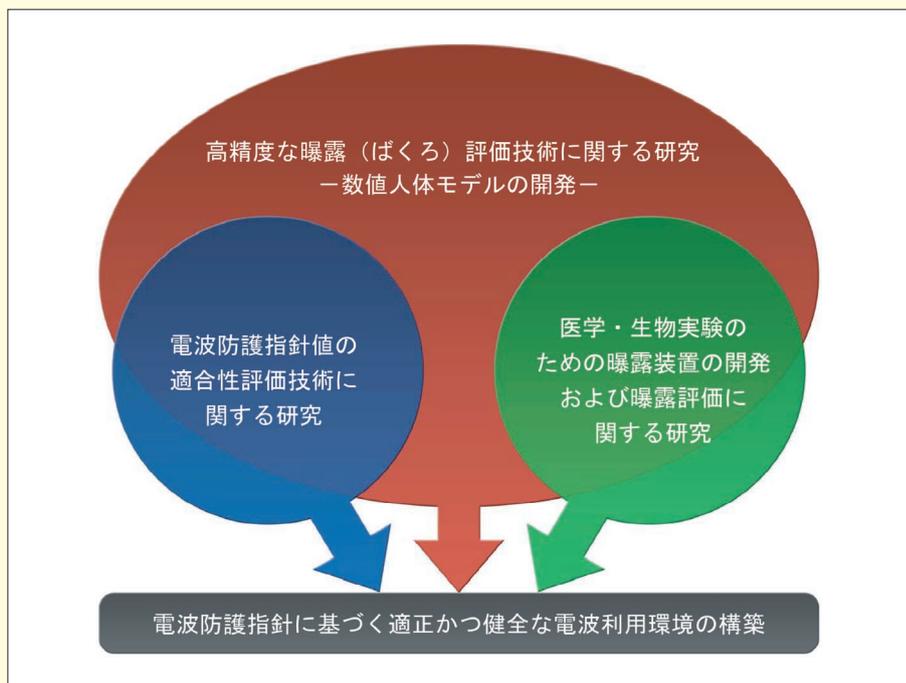
今は「胎児期および新生児期のラットにおける電波全身曝露実験」という実験をしています。これは、母親ラットのおなかにいる時から電波を当てた子どもに、さらに生まれてからも電波を当て、その子どもの発達・成長を確認する実験です。この実験でも電波を当てた群と当てていない群との間に差はなかった

のですが、今はさらに孫まで電波を当て続けたらどうなるかというところまで行っています。

—国際疫学調査にも参加されたそうですね。

渡辺 東京女子医科大学や慶應義塾大学と共同で脳腫瘍の患者さんが過去にどれだけ携帯電話を使っていたかということ調べてました。脳腫瘍の患者さんというのはまれなため、患者さんのデータを世界中で集めればということで13カ国共同で調査をしたのです。携帯電話にもいろいろなタイプがあるので、そのタイプごとに頭の中にどのように電波が吸収されるのかをカテゴリ分けして、実際に脳腫瘍が発生した位置と、電波の吸収量との相関があるのかどうかというデータを提供したりしました。

もう1つ、電磁波過敏症という問題がありまして、安全基準より十分に低いレベルであっても「携帯電話をそばで使われると頭痛くなる」「パソコンモニターのそばで作業していると頭痛がする」という症状を訴える方がいらっしゃいます。福島県立医科大学、東京大学、国立保健医療科学院との共同研究では、そういう方にご協力いただいて、いつ電波が来ているかどうかわからないようにして、気分の変調などに差があるかどうか調べる実験をしています。



●生体EMCプロジェクトの研究目的

リスクを最小限に抑えるために 続けられる研究

——ラットの実験などは、そこまで調べるのかと驚かされましたが、生体EMCの研究は、「電波が安全であるとは言いきれない」という事を前提にしているのですか？

渡辺 「危険は絶対にない」という証明はできません。そうは言っても、新しい技術が出てきた時には、安全かどうか不安になったりしますよね。ですから、「ここまで調査して大丈夫なのだから、たとえ何かしらの影響があったとしても、リスクとしては無視できる範囲にとどまるだろう」というところまで追い込んでいくとしています。

1996年には、WHO（世界保健機関）が総合的な健康リスク評価をするプロジェクトを立ち上げ、世界各国に分担して研究を進めるように勧告しています。

電波の安全性を確かめるために、どれくらい当てたら生命に危険が及ぶか、というような事も含めて、たくさんの実験を行っているのです。それに基づいて安全基準が決められていますが、その安全基準以下でも、何か影響が「出たかもしれない」という事例もあるのです。再現実験をすると影響は確認されないの、問題はないと考えられていますが、ただ、そういうデータを着実に積み上げていくことが大切なのです。

——「もしかして…？」というレベルのリスクについても調査が必要であるということでしょうか。

渡辺 現在でも、「大変な健康被害が出るというような重篤な影響は多分ないでしょう」と言えるところまでは来ていると思います。とは言え、携帯電話というのは、今や世界中でかなりの人が使っていて、しかも子どもの頃から老人になるまで一生使い続けるものです。ですから、たとえ小さなリスクでも、社会的なリスクとしては無視できなくなる可能性がある。それが、WHOが他のリスク要因よりもしっかりと電波の影響の研究をしましょう、と言いつつ続けている根拠の1つだと聞いています。ですからNICTでも、「もしかしたらあるかもしれない」ということを前提に研究をしているわけです。

——微弱でも長期にわたって電波を浴び続けるという事が、人類にとってどんな影響があるのか、調査・研究を続けなければならないということですね。

渡辺 近いうちには、1つの大きな区切りが来る予定です。

先程お話した、WHOのプロジェクトですが、その中に、私たちが参加した脳腫瘍の国際疫学調査もありました。各国ごとの調査は終わったのですが、全部のデータをプールしての評価の結果が、おそらく今年中に出るだろうと言われてい

ます。それが出てから、国際がん研究機関というWHOの研究機関が電波の発がん性に関する評価を出します。その評価を受けて、今度はWHOががん以外の健康影響を含めた総合的な健康リスク評価をする予定です。

それが大体2012年頃になる見込みなのです。そこまででとりえず携帯電話の健康リスクについては一定の結論が出ると言えるのではないかと考えています。

——その結論が出たら、NICTの活動にどのような影響があるのでしょうか。

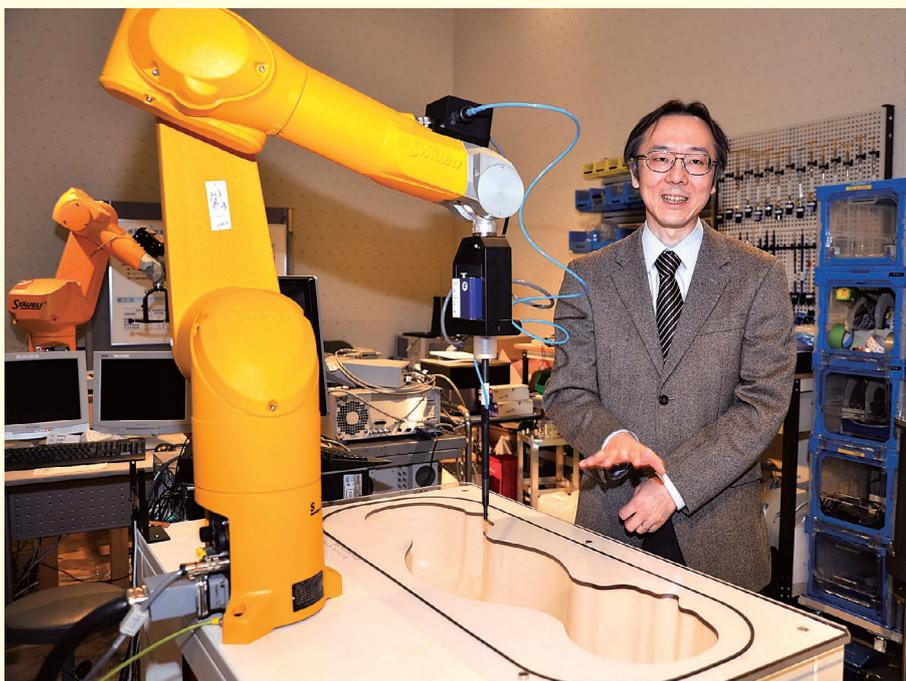
渡辺 今度はそれに合わせて安全基準を見直さなければなりませんし、安全基準が改定されたら安全基準の適合性を確認するための評価方法も変えていかなければなりません。そうこうしているうちに、今度は携帯電話に第四世代などが出てきますので、今度はそこで使われる周波数の影響はどうかという研究を続けていかなければなりません。そのようなサイクルが続いていきます。

とはいえ、ずっとわからない状態が続くというわけではありません。1つ1つの電波の利用方法に対して「この範囲では安全です」という結論を出しながら、新しい電波システムについての研究を続けていくということになるのではないかと思います。

安全基準に関する 国際標準化の現状

——世界の中では、日本で行われているこういった研究の位置づけというのは、どれくらいのところにあるのでしょうか。また、安全基準などは国際標準化が大切というお話がありましたが、現状はどうなっているのでしょうか。

渡辺 世界各国で電波の安全基準が策定されており、日本も含めて西欧諸国はほぼ同一の内容の基準となっています。一方で、東欧などの安全基準というのはかなり厳しくなっています。とはいえ、やはり国によって安全基準が違いすぎるのは問題だということで、WHOの取り組みの中でも安全基準の国際整合が1つの大きなテーマになっています。最近では



●携帯電話のSARを測定するシステム



各国の安全基準がだんだん刷り合わせられつつあります。

—まだ完全に一致してはいないということですね。では、ある国の安全基準をクリアした携帯電話を作っても、どこの国でも売れるという状態にはなっていないのでしょうか。

渡辺 携帯電話については、一部の国では安全基準が異なっています。国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) が作ったガイドラインがあって、EUと日本はそれを採用しています。米国にはIEEEのガイドラインをベースとした安全基準があります。これらの安全基準の違いは人体の健康に対する熱的な影響を考慮しているという意味では同じなのですが、その熱的な影響をどのような指標で表わすかという点で違いがあるためです。先日FDA (米国食品医薬品局) でこの問題について検討するワークショップが開催されましたが、NICTは名古屋工業大学と共同で曝露評価のデータ提供を行い、安全基準の国際的な整合の推進に貢献しています。

各国の安全基準について別の問題もあります。欧州の一部の国では「予防原則」という考え方が非常に強く出ています。狂牛病が問題になったとき、まだ原因がはっきりしていないうちから、とにかく狂牛病が発生した国からの牛肉の輸入をやめたという事例があります。これは予防原則に基づいてのことなのですが、それと同じ考え方を電磁波にも適

用すべきではないかと考えるのです。もししたら安全基準以下のレベルでも影響があるかもしれないという結果が一部の研究で報告されていて、その可能性をつぶしきれていない間は可能な限り電磁波の利用をやめるべき、という意見があります。

—予防原則に則れば、これまでの安全基準に従うのでは不十分だと考える国もあるということなのですね。

渡辺 はい。その考えを採用しているところでは、子どものいる学校や病院の近くには基地局を建てられなくなっています。しかし、今あるものを移すのは大変だから新しく建てるのはやめようというような、悪く言えば場当たり的な対応だったりもするのですが、そういったことを予防原則の名の下に行っている国もあります。

この件に関してはWHOも、科学的な根拠はないし、かえって混乱を助長するだけだから推奨できないと言っています。特に、携帯電話基地局からの電波の強さは、安全基準よりはるかに低い (数千分の一以下) ことから、基地局からの電波曝露によって健康への影響は生じることはないだろうというのがWHOの見解です。一方で、携帯電話端末からの電波曝露による影響については、更なる研究が必要との見解が示されています。実際、「この携帯電話は安全基準をクリアしていますよ」と言われても、やはり不安になる人がいる。それに対して絶対に安全とは科学的に言い切れないけれども、「おそらく大丈夫ですよ」ということを、説得力を持って言うためには、もっとしっかりとした研究データが必要なので、私たちも研究を続けているのです。

世界標準に貢献する研究をNICTから

—このレベルで研究・開発をしているのは、日本ではNICTだけなのでしょう？ 今後、そういった研究成果へのニーズの増加も見込まれますか。

渡辺 シミュレーションを主体とした理論研究であれば大学でも結構していると

ころはあります。他には民間企業が、適合性評価試験ですとかIECとかITUへの寄与という形で積極的に行っていますね。

最近の状況を言えば、新しい測定方法が決まったら、日本でも無線LANも規制対象になる可能性がでてくるので、携帯電話以外のメーカーなども注目しています。

—EMCグループとしての今後の目標がありましたらお聞かせください。

渡辺 今まではNICTでは、適合性の評価方法や医学生物実験などといったものを、主に携帯電話を対象として行ってきました。ですが、今は携帯電話だけではなく無線LANやRFIDやミリ波などといった、新しい電波を使った身近な装置が出てきています。そういう新しいものに対する研究を続けていく必要があります。

私たちは基本的には、今使っている電波防護指針というものが、本当に新しい電波利用状況に対応できているのかということを中心に評価できるようなデータを、動物実験なり、人体モデルを使ったシミュレーションによって出さなければなりません。最終的には安全基準を見直して、その安全基準をきちんと評価するためにはどのような適合性評価方法があるのか。そういった研究を、携帯電話以外のものに対しても広げていきたいと考えています。

公的な機関で、ここまで総合的な研究規模で行っているのは世界でもNICTだけです。他の国でも行われていますが、ある一分野だけだったりしますので、そういう部分でもNICTというのは世界的にもネームバリューがあります。

最初にお話した数値人体モデルの開発もそうですが、世界でもトップレベルの検証が行える技術をしっかり持って、それが世界的にも評価されて、NICTで研究・開発したものであれば間違いのないと言われるように、世界に対しても発信していくことができると考えています。世界の基準をNICTが決めていくというぐらいになるのを目指したいですね。

—本日はありがとうございました。

人体内部の電波吸収量を推定するための数値人体モデル

様々な電波利用状況下に対するきめ細やかな安全性評価



長岡 智明 (ながおか ともあき)

電磁波計測研究センター EMCグループ 専攻研究員

大学院博士課程修了後、2004年にNICTに入所。生体電磁環境数値解析のための数値人体モデルの高精度化および高機能化に関する研究に従事。博士(医科学)。

人体における電磁波エネルギーの吸収量の推定

近年、携帯電話に象徴されるように、電波利用の急速な発展に伴って、電波を発射する機器が私たちの身近なところで利用される機会が多くなってきています。その一方、それらの電波に人体がさらされることによる健康への影響についての関心が非常に高まっています。人体に対する電波の安全性を考える場合、電波にさらされた人体の各部位に吸収される、単位質量あたりの電力である比吸収率 (SAR: Specific Absorption Rate) を正確に推定する必要があります。生体に対する熱的な影響 (熱ストレス) を測る指標として用いられている SAR は主に人体を模擬した数値モデル (以下、数値人体モデル) を用いたコンピュータシミュレーションによって推定されます。数値人体モデルとは、人体 (組織・臓器) の形状を微小なブロックの集合体として表現し

たもので、各微小ブロックに筋肉、脂肪、心臓といった組織・臓器名を示す番号を付与したものです。これまで、NICTでは、MRI データを利用して人体の複雑な解剖学的構造を詳細に模擬した、直立姿勢の日本人の平均体型を有する成人男女の数値人体モデル「TARO (男性) と HANAKO (女性)」を開発してきました (図1)。これらのモデルは51種類の組織・臓器を有し、TARO を約800万個、HANAKO を約630万個の2mmの立方体ブロックで構成したことで、日本人を想定した高精度なシミュレーションが可能となっています。しかし、人体に吸収される電力量は人体のサイズ (身長、体重、体型等)、姿勢、内部の組織構造 (脂肪量等) に依存して大きく変動することが知られており、例えば、成人と体型や内部組織構造が大きく異なる小児を対象とした評価に、成人の数値人体モデルを利用することは適さないという問題があります。そこで、NICTではこれらの問題に対応するため、

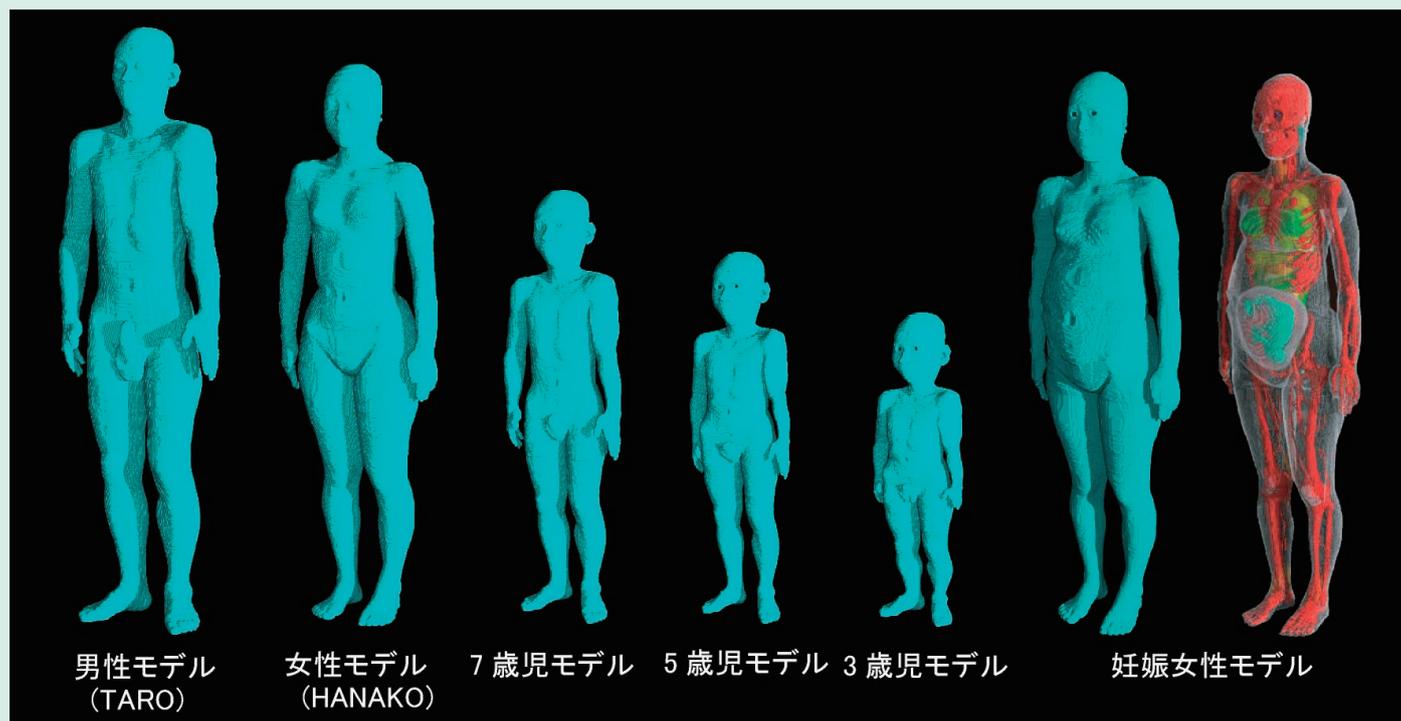


図1●NICTで開発している数値人体モデル
各モデルの体表画像を示しています。妊娠女性モデルのみ、胎児 (緑色) の形状を確認できるようにポリウムレンダリング*表示も並べました。これらのモデルのブロックサイズは2 mm。成人男女および小児モデルの組織数は51種類、妊娠女性モデルの組織数は妊娠固有組織 (胎児、胎児の脳、胎児の眼、羊水、胎盤) を含む56種類で構成されています。

*ポリウムレンダリング: 人体など、三次元的な物体の内部構造も含めて視覚化するために用いられる可視化手法

数値人体モデルの任意体型化、任意姿勢化など、数値人体モデルの高機能化に関する研究に取り組んでいます。

妊娠女性モデルと小児モデルの開発

最近、妊娠女性、胎児および小児に対するSAR評価が電波防護において最も重要な研究課題の1つとなっており、2006年にWHO（世界保健機関）でも胎児や小児のSAR評価を最優先課題の1つに挙げています。しかし、妊娠女性や小児の数値人体モデルをTARO、HANAKOの開発法と同様にMRIの全身データから新たに構築することは、倫理的な問題や多大な開発時間を要するなどの問題があります。この課題に取り組むためにTARO、HANAKOを3次元的に変形することにより、妊娠女性モデルや小児モデルを構築しています（図1）。

千葉大学と共同で開発した妊娠女性モデルは、妊娠26週の女性の腹部MR画像に基づいて新たに構築した妊娠女性固有の組織（胎児や胎盤など）を含むモデルと、妊娠女性の腹部形状に一致するように、HANAKOの腹部形状を自由形状変形（FFD: Free-Form Deformation）法を応用して拡張したモデルを組み合わせることによって開発しました。この妊娠女性モデルは世界で初めて開発された妊娠女性固有組織の形状を忠実に模擬した数値人体モデルであり、胎児など妊娠女性固有組織を含む56種類の組織・臓器を有し、約710万個の2mm立方体ブロックで構成されています。現在、この妊娠女性モデルのデータベースはTARO、HANAKOのデータベースと同様に、広範囲な研究分野に利用してもらうために公開（<http://emc.nict.go.jp/bio/data/>）しています。

小児モデルについては、成人と小児では、身長に対する各身体部位の割合（例えば身長に対する頭部の割合）が大きく異なるため、単純に成人モデルの身長・体重を小児の身長・体重に合わせて変形するだけでは、実際の小児体型を模擬したモデルを構築することはできません。そこで、対象とする年齢の小児の60以上の部位の寸法を計測し、その人体計測データに基づき、TAROを対象の寸法値に合うように変形しました。NICTでは、現在、小児のSAR評価を行うためTAROと同様の組織数およびブロックサイズで構成された3歳児、5歳児、7歳児の数値人体モデルを開発しています。また、この方法を利用すれば、短期間に任意体型モデルを構築することが可能であり、様々な年齢層での評価、検討を実施することができます。

数値人体モデルの適用範囲を拡大する技術

これまで述べた数値人体モデルは図1に示したように、すべて直立姿勢です。無線通信機器を実際に利用した場合の姿勢など、より現実的な条件下でのSAR評価をするために、数値人体モデルの任意姿勢化に関する検討を進めてきました。数値人体モデルの関節を基準にして分けた複数のパーツを、FFD法を用いて任意の方向に移動することによって、様々な姿勢のモデルを生成することができます（図2）。また、NICTで開発している数値人体モデルは2mmブロックという非常に高い分解能を有しており、概ね3GHzまでのSAR評価に利用できますが、今後の無線通信機器

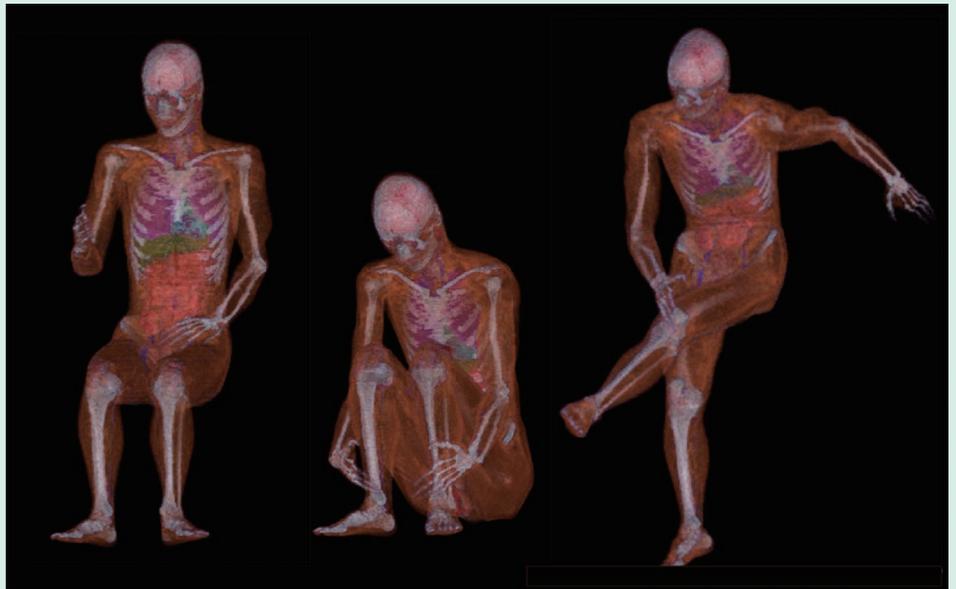


図2●成人男性(TARO)モデルの姿勢変形例(ポリウムレンダリング表示)



図3●数値人体モデルの高分解能化

の高周波帯への移行に伴い、それらの高周波に対応したより高分解能なモデルを整備するため、図3に示すような、高周波数帯の数値解析で誤差要因となりうる数値モデルの組織間の境界の凸凹を平滑化しながら、任意の高分解能モデルを構築する手法についても検討しています。

今後の取り組み

様々な人々を対象とした現実的な条件下での人体内部のSARを高精度に推定することを目指して、NICTでは既存の数値人体モデルを利用した新たな数値モデル開発および姿勢変形といった新たな機能の追加など、数値人体モデルの高機能化に関する研究を推進してきました。今後、任意体型モデルの構築法を体型以外に内部組織の解剖学的な特徴も考慮した方法に改良することにより、様々な電波利用状況下に対して、きめ細やかな安全性評価を行うことができると考えています。将来、皆さま（個人）の体型や、内部組織構造を忠実に模擬したモデルを瞬時に構築し、それらのモデルを用いて体内の電波吸収量を高精度に推定することが可能になると考えています。



新世代ネットワーク研究開発ターゲット 「地球にやさしいネットワーク」



村上 誉 (むらかみ ほまれ)

新世代ワイヤレス研究センター
ユビキタスマobilグループ
主任研究員
総合企画部
新世代ネットワーク研究開発戦略推進室
主任研究員



川村 龍太郎 (かわむら りゅうたろう)

総合企画部
新世代ネットワーク研究開発戦略推進室
専門研究員

「地球にやさしいネットワーク」とは

新世代ネットワークは、今後数十年にわたって社会を支え得るインフラであることが求められます。そのために、その時々ニーズ・コスト・環境条件などに適合した、持続的に運用が可能な技術により構成されることが求められます。新世代ネットワーク技術戦略におけるネットワークターゲットの1つである「地球にやさしいネットワーク」では、地球の容量限界に起因する様々な制約に対して解決法を見だし、ネットワークと社会の持続的発展を可能とすることを目的にしています。

エネルギー問題～グリーンネットワーク～

ICTの利活用により発生される通信トラフィック量は近年増加の一途をたどっており、15年後には現在比の1,000～10万倍程度に達すると予測されています。既に日本ではICTが使用する電力消費量が総量比で約5.8%をも占めており、この

まま推移すれば近い将来深刻な電力量増となることは避けられません。近年のエネルギー問題(温室効果ガス排出量削減)の国際的動向を考慮すれば、このICTのエネルギー問題に対する抜本的解決策は急務と言えます。

そこで、新世代ネットワークでは情報転送のエネルギー効率を1,000倍以上に飛躍的に向上させ、消費電力量の増加を伴わずに増大するトラフィックの低減・収容を可能とすることを目指しています。このような飛躍的な省エネルギー化は、現在主に取り組まれているルータなど通信装置単体の改良だけで達成することは非常に困難であることが研究により予測されており、アーキテクチャの再設計を含めたネットワーク/ICT総体での抜本的な対応が必要と考えられます。フォトリックネットワークに代表される省電力通信方式、装置構成法、デバイス技術、待機時のスリープ技術等と、常時通信が前提であるIP、TCPなど現在のインターネットを構成する主要プロトコルの革新により実現する単位情報を超低消費電力で通信する技術。また、ネットワークとサーバ(クラウド)、アプライアンス等を連携したエネルギー最適化情報・コンテンツ流通方式により情報流通を効率化し、発生トラフィック量を低減する技術などがその中心となると考えられます。

周波数資源問題

無線通信の利用者数の急増と通信速度の高速化、コンテンツの大容量化によって無線周波数資源は限界に達しつつあり、枯渇に瀕しています。さらに、ユビキタス通信やセンサーネットワークなど新しい無線利用が萌芽しつつあることも考えると、新世代ネットワークでは有限である無線周波数の利用に関し、増大が予想される無線トラフィックを収容し得る技術の研究開発が必須となります。

そこで、新世代ネットワークではエンドユーザにおける無線通信キャパシティを現状の100倍以上に高めることを目標としており、そのために必要となる種々の無線利用技術が開発されています。例えば、(1) まだ十分に活用されていない高周波帯(ミリ波帯～テラヘルツ帯)を利活用するための技術開発による使用可能な周波数の拡大、(2) コグニティブ無線技術やMIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術など、周波数の利用効率(例えば、1Hz当たり、単位面積当たりの情報伝送量 [bit/Hz/km²])の増大、(3) 高速移動中のユーザのトラフィックは携帯電話網のようなモビリティ対応ネットワークに、移動しないユーザの通信はユーザの利便性を低下させずに行えるだけ有線ネットワークに収容するような、用途に応じた周波数リソースの動的再配分技術、等の実現に向け研究が進められています。



地球に優しいネットワーク

新世代ネットワーク研究開発ターゲット 「新世代ネットワークファンダメンタルズ」



成瀬 誠 (なるせ まこと)

新世代ネットワーク研究センター
超高速フォトニックネットワークグループ
主任研究員

総合企画部
新世代ネットワーク研究開発戦略推進室
主任研究員



小嶋 寛明 (こじま ひろあき)

未来ICT研究センター
バイオICTグループ
研究マネージャー

総合企画部
新世代ネットワーク研究開発戦略推進室
主任研究員

5つのネットワークターゲットの 共通基盤となるファンダメンタル領域

新世代ネットワーク技術戦略のひとつである「新世代ネットワークファンダメンタルズ」は、これまでの連載記事で紹介してきた、「5つのネットワークターゲット」に共通して重要となる基盤領域の充実を目指すものです。また、この「ファンダメンタル領域」は、中長期的展望によって浮かび上がる、いくつかの重要な潮流にも対応して構成されました。例えば、①これまでのネットワークを支えてきた伝統的な学術的基礎が、量的にも質的にもますます厳しくなっているネットワークの要求に対応できなくなっていること、②世界のイノベーション競争の激化や産業構造の転換を受けて、デバイスや材料など個別の先端領域の技術革新を、全体システムの付加価値の連鎖体系のなかで戦略的に位置づけることの重要性がますます高まっていること、などがあります。これらの状況に対応するために、新世代ネットワークファンダメンタルズは3つの重点技術項目にまとめられています。

3つの重点技術とイノベーションの創出

第1は、「ネットワークアーキテクチャファンダメンタル」。前述のように、古典的なネットワークの理論的基礎の限界が、いよいよ深刻となっています。例えば、トラフィック特性のマルコフ性を基礎にした待ち行列理論は、複雑化・多様化が進行する新世代ネットワークでは限界

があり、また、クラウド化やデバイスのコモディティ化の強い流れ、省エネ化に見られる厳しい環境調和性能要求などは、ネットワーク設計問題の前提をひっくり返しています。これからの情報通信を支える学術的基礎、言わば「ネットワークサイエンス」の確立が、アカデミアに強く要請されることとなりますが、大規模で複雑なシステムが最重要社会基盤となっている今日、産業界からの期待も切実となってきています。

第2は、「知識社会ネットワークファンダメンタル」。例えば「価値を創造するネットワーク」で目指しているように、ネットワークは、単なる伝送路にとどまらず、人や社会の価値創発の担い手として発展していきます。そのための基盤には、脳情報などを含めた人間理解との連携も生じますし、多様で複雑な社会経済的効果 (Socio-economics) との関わりを十分に考慮する必要が生じます。

第3は、「ネットワーク物理アーキテクチャファンダメンタル」。例えば「地球にやさしいネットワーク」で目指しているように、省エネ化は新世代ネットワークの最重要課題のひとつです。そのためには、材料・デバイスからシステムに至る全階層でエネルギーを機軸にした連携が必須です。そのほか「ユーザが制約を意識しないネットワーク」でのネットワークユニフィケーションや「トラスタブルネットワー

ク」での安全なネットワーキング、さらにはネットワークの新概念創出など、物理と情報が調和・連動して新しい付加価値を創造することが求められます。

最後に、このようなファンダメンタル領域の研究は、それ自体、イノベーション創出の戦略として位置づけることもできます。例えば、欧州は、第7次欧州枠組計画 (FP7) のなかで情報通信技術における将来新興技術 (Future and Emerging Technologies: FET) を定め、強力で推進しています。そこでは、個々の研究開発が様々な「出口」に結びつくことも当然期待されていますが、同時に、知的好奇心を引き起こす魅力的な研究テーマによって世界から優秀な人材を吸引し、結果として、知識社会の厳しい競争のなかで生き残りを図るという戦略を反映したものでもあります。効率性に目が向きがちな昨今、基盤の強化・学術の強化が、中長期的に最も重要な視座のひとつであることもまた、忘れてはいけません。



新世代ネットワークファンダメンタルズ

神戸研究所 未来ICT研究センター 専攻研究員

L i u J i a n - Q i n
劉 健 勤

●Profile

中華人民共和国中南大学情報工学学院教授、国際電気通信基礎技術研究所(ATR) 客員・主任研究員等を経て、2006年より現職。
 生命システムに学ぶ新世代ネットワークアーキテクチャのロバスト制御の研究に従事。博士(工学、情報学)。

ロバストなネットワーク制御と自律システムの構築を目指して
 生命システムに学ぶ
 新世代ネットワークの原理設計

数十年後の情報通信ネットワークのために

NICTでは、今後数十年にわたるICT基盤となる「新世代ネットワーク」について研究開発を推進しています。インターネットの改良だけでは解決が困難な技術的課題や限界を、既存の技術にとらわれずに白紙から新しく設計することで、抜本的な解決を目指すものです。そうした全く新しい発想の1つとして、生物に学ぶダイナミックなネットワークの研究が、神戸研究所で進められています。未来ICT研究センターの劉 健勤専攻研究員は、この研究に取り組む研究員です。

「私たちは、生物学、特に細胞レベルの分子生物学における、信号伝達 (signal transduction) に注目しています。通常、生物学における信号は化学的に、また、情報通信における信号は電気的に取り扱われています。一見これらは異なる現象のようですが、シグナリング・パスウェイ (signaling pathway: 信号伝達経路) をもって「情報」をやりとりするという点では、共通しています。そして未来のネットワークを創っていくとき、この生物の信号伝達メカニズムを研究することで、情報通信に有効な新たな原理を見つけることができるという期待をもって研究を進めています」

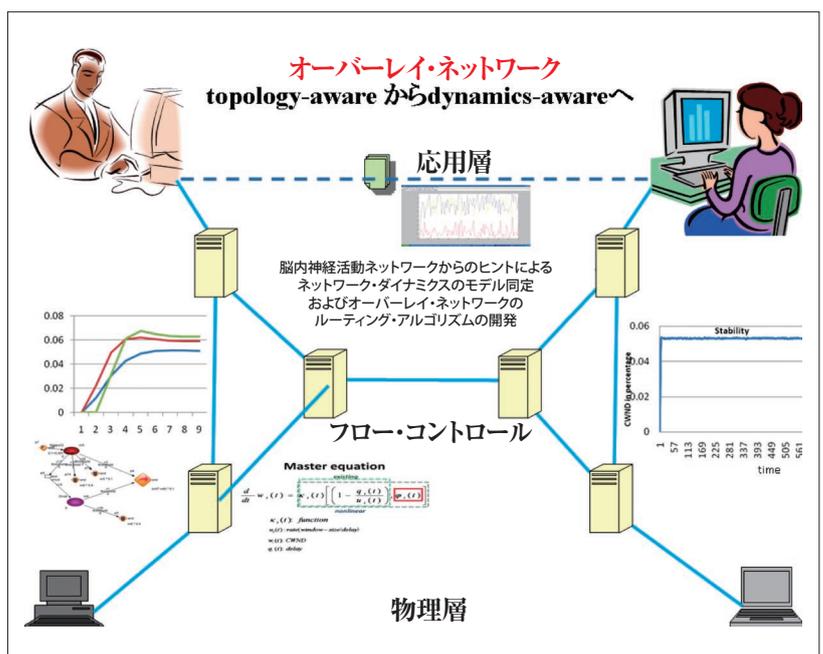
20世紀半ばに基本原理が作られた現在のインターネットには、いくつかの弱点があります。例えば、同時にたくさんの人がアクセスすると、道路のように渋滞を起し、伝送速度が急激に落ち

たり、アクセスそのものができなくなったりすることは、私たちも経験しています。また、大地震などによりインターネットのインフラが破壊されれば、通信手段の確保や対策が必要になります。新世代ネットワークでは、たとえ自然災害が発生したとしても、基本的な必要最小限の情報通信が、地球規模で保障されなければなりません。そこで着目するのが、生物の細胞レベルのネットワークです。

生物の持つ優れた情報伝達機能と計算論的モデル

「生物の細胞レベルのネットワークには、大量の情報が押し寄せても、また、環境の変化に応じて、ダイナミックに情報を処理する柔軟性と適応性があります。

例えば、蛋白質Aから蛋白質Bに情報を伝達する際、情報伝達物質としての蛋白質Xが使えなければ、代わりに蛋白質Yを使うというように、1つのルートがダメなら別のルートを使うという機能を有しています。



●オーバーレイ・ネットワークのダイナミクス分析と自律制御

また、脳内の神経細胞であるニューロンもよい例です。ニューロンは、通常それぞれが自律的なものですが、必要に応じて互いに連動し、集団的な振る舞いをするのが知られています。しかも、これらの自律的なニューロンが、脳内に同期を起こすことで、情報を効果的に伝えているのです。

私は、このニューロンの性質を、新世代ネットワークのアーキテクチャに利用することを考えています。つまり、ネットワーク上に、ニューロンのようなセンサーを置き、通常はエネルギーを節約するため「OFF」になっていますが、必要に応じて自律的・自発的にスイッチが「ON」になるセンサー。そうしたネットワークのダイナミクス（動力学）を、生物から学ぼうとしているのです」

劉研究員は、生物の持つこうした優れた情報伝達機能を新世代ネットワークの原理設計に応用することで、「ロバストなネットワーク制御」や「自律システムの構築」を目指しています。ロバスト性 (Robustness) とは、環境変動に対してシステムの機能を維持・回復するメカニズム、特徴、性質などのことです。また、自律性とは、集中型制御器がなく、局所的な相互作用からソリューションを見つけ出そうとする機能のことです。

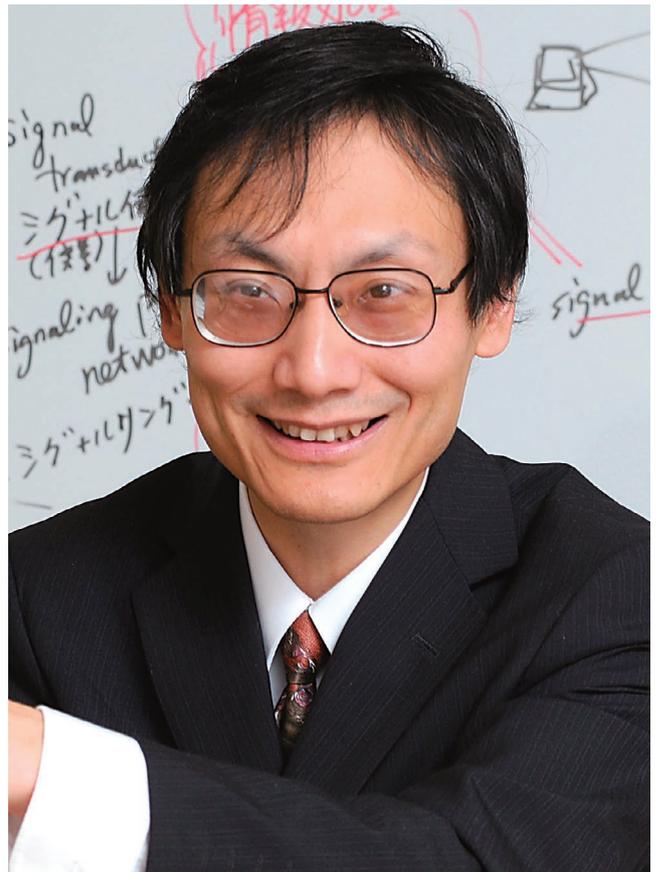
劉研究員は、生物に学ぶロバストなネットワークの1つの例として、大腸菌熱ショック反応 (Heat Shock Response: HSR) における細胞シグナリング・ネットワークを挙げています。熱ショックにより大腸菌の蛋白質折り畳みができるメカニズムは生化学反応ですが、劉研究員は新しい情報通信ネットワークを設計するため、HSR細胞シグナリング・ネットワークに関するバイオインフォマティクス (Bioinformatics: 生物情報学) モデルとその反応プロセスのシミュレーションを行いました。計算論的なモデルを設計してコンピュータ上で再現し、さらに分子生物学の証拠をもって追試するのです。こうした研究方法により、信頼性の高いネットワークを提供するための伝送制御プロトコルであるTCP (Transmission Control Protocol) を応用の対象として、ロバストなネットワーク制御技術で成果をあげています。

故郷の街並みに似た京都、奈良

劉研究員の故郷は西安、かつての長安です。遣唐使の派遣先として日本人にも親しみのあるこの都市は、京都、奈良とは友好都市の関係にあるそうです。

「今年奈良は遷都1300年で話題になっていますが、初めて京都と奈良に行った時は、故郷の街並みにとても似ていると感じました。当時の建物がそのまま保存されているのかと驚いたものです」

趣味は歴史と読書だそうです。歴史の本を読んでから歴史の出来事があった場所に行くと、とても勉強になるといいます。休



日には奥さんと娘さんを誘って親子3人で出かけることもあります。

「私は司馬遼太郎のファンで、司馬さんの本が大好きです。東大阪市にある司馬遼太郎記念館にも行きましたよ」

ちなみに、来日当初は英語版で読んでいたそうですが、日本語に習熟してからは日本語の原文で読んでいるそうです。

日本と中国の架け橋に

そんな劉研究員は、日本人像について、

「日本人は仕事に対して真面目で、ルールを守り、非常に注意深く事を進めます。これが一番の特質だと思います。また人間性の面では、中国人にも理解できるユニークな東洋の哲学を備えていますね。この日本のオリエンタルで伝統的な文化と、ガリレイやニュートンに代表される西洋的方法論が合致すれば、より完璧だと思います」

そして将来の展望については、「中国と日本の橋渡しのようなことがしたいのです。もし中国に戻ることにできれば、NICTなどのように日本と中国の研究者が互いに行き来して研究できるような環境を持つ共同研究所の参画に携わりたいという夢を持っています」

劉専攻研究員は、細胞レベルの現象を見つめるミクロな眼と、国境を越えたマクロな眼で研究に取り組んでいます。

「第2回日米新世代ネットワークワークショップ」を開催

—新世代ネットワークの実現に向けて日米の協力強化—

総合企画部 新世代ネットワーク研究開発戦略推進室 室長 青木 哲郎

NICTと全米科学財団 (National Science Foundation: NSF) の共催により、「第2回日米新世代ネットワークワークショップ」(US-Japan Future Network Collaboration Workshop) を開催しました。

開催日：2009年12月4日(金)～6日(日)

開催場所：米国 ハワイ州ホノルル

出席者：米国24名、日本32名(うちNICT 13名)

2008年10月に米国パロアルトで第1回のワークショップが開催され、日米の新世代ネットワーク研究関係者の交流が図られました。それを受けて、テーマを絞り、具体的な

日米間での共同研究プロジェクトの早期立ち上げを目的として第2回の会議が開催されました。初日にNICTの宮原秀夫理事長とNSFのDr. Ty Znatiによる基調講演の後、青山友紀プログラムコーディネーター、およびNSFのDr. Freeman が会議の開催意義を日米双方の立場から発表し、参加者全員の自己紹介の後、共通する研究課題について忌憚のない意見交換が行われました。

2日目には日米双方の新世代ネットワーク研究開発環境 (JGN2plus, GENI等) や将来研究トピックスの紹介を行った後、NSFとNICTが研究体制の説明を行いました。続いて、具体的な共同研究テーマ・体制の立案を1つの目標として、4つのテーマについてブレインストーミングおよびディスカッションを開始。

- 1) 新世代ネットワークとサービステストベッド
- 2) ネットワーク科学とモデリング
- 3) ネットワーク基盤技術
- 4) 信頼性とセキュリティ

ここでは共通的なチャレンジ課題、解決へのアプローチ、連携項目等についてディスカッションを行いました。今回の議論をもとに、今後の研究チャレンジや日米連携の可能性について、今後1～2ヶ月で取りまとめ、第1回ワークショップ同様、報告書としてWebにて公開予定 (<http://nwgn.nict.go.jp/>) です。

次回は、2011年3月に日本で開催する予定です。



新世代ネットワークの実現に向けての連携を推進した出席者

読者の皆さまへ

次号は、医療分野での実用的研究から最先端のナノテク展示報告まで、多彩な内容を取り上げます。

NICT NEWS 2010年3月 No.390 ISSN 1349-3531

編集発行

独立行政法人情報通信研究機構 総合企画部 広報室

NICT NEWS 掲載URL <http://www.nict.go.jp/news/nict-news.html>

編集協力 株式会社クリエイト・クルーズ

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1

TEL: 042-327-5392 FAX: 042-327-7587

E-mail: publicity@nict.go.jp

URL: <http://www.nict.go.jp/>