

沸騰する地球。私たちは生き残れるのか

〈災害・持続可能社会

■静岡の森と地球温暖化

今日は、「静岡の森と地球温暖化」というテーマでお話しさせていただきます。

日本の年平均気温の変化を気象庁のデータでみてみますと、最近100年で1・16度の割合で上昇しています。世界の年平均気温では、100年間で0・71度という上昇になります。100年間に1度前後の上昇ということで、「大したことではない」と感じる部分もあるかとは思いますが、私たちは実際に、普段の生活で、気候の変動というものを体感しているはずです。特に、夏にかなり高温になる、都市域を中心として狭い範囲で集中的な雨が降るなどです。また、それによって低地の浸水などが起こっています。さらに、台風が日本の近海に来る場合、弱まらずに大型化したまま接近することが、度々あります。これも、日本付近の海面の温度が26・5度以上あるという状況で、台風がさらに発達しているためです。私たちの周りでは、こういった様々な環境が変わってきています。



谷 晃 [たに あきら]

静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科教授
大阪府立大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程中退。博士(農学)(1996年大阪府立大学)。1991年大阪府立大学農学部助手。1997年東海大学開発工学部生物工学科講師。2001年～2002年英国ランカスター大学環境科学部客員研究員。2005年東海大学開発工学部生物工学科助教授。2007年静岡県立大学環境科学研究所准教授。2014年同大学食品栄養科学部准教授。2015年より現職。気象予報士(国家資格)。通訳案内士(外国語:英語、国家資格)。

この気温上昇の原因ですが、今日お話しする二酸化炭素（CO₂）、それに加えてメタンなどの温室効果ガスが主要因と考えられています。さらに、都市の温暖化「ヒートアイランド」と呼ばれるものがあります。実際に東京では、100年間で気温が3度ほど上昇しています。3度のうち、温室効果ガスによる昇温が約1度と、後はヒートアイランドによる昇温が2度と解析されています。しかし、日本全体で、都市の影響を受けないような地域でも確実に気温が上がってきていますので、先ほどお話しした100年間で1・16度の上昇があるということになります。

今回は、この都市の温暖化の方は割愛し、温室効果ガスについてお話しします。皆さん御存じのように、大気中のガス成分では窒素が一番量が多く78%、その次に酸素で21%、その次がアルゴンで約1%となっています。これ以外では、大気中には水蒸気が大きな濃度変動をしながら存在しますので、それが0・5〜3%程度の範囲です。一般的に、大気中のガス成分というときには、水蒸気を含まない乾燥空気の組成で示すことが多いです。その中で、温室効果気体の二酸化炭素は、私が学生時代に習ったときの濃度では0・03%（300ppm）でした。それから30年経過して、現在では0・04%になっています。全体のガスの組成から見たら本当に微々たるものですが、この0・01%の上昇によって地球温暖化が進行していますし、これからも濃度上昇が続くことになります。

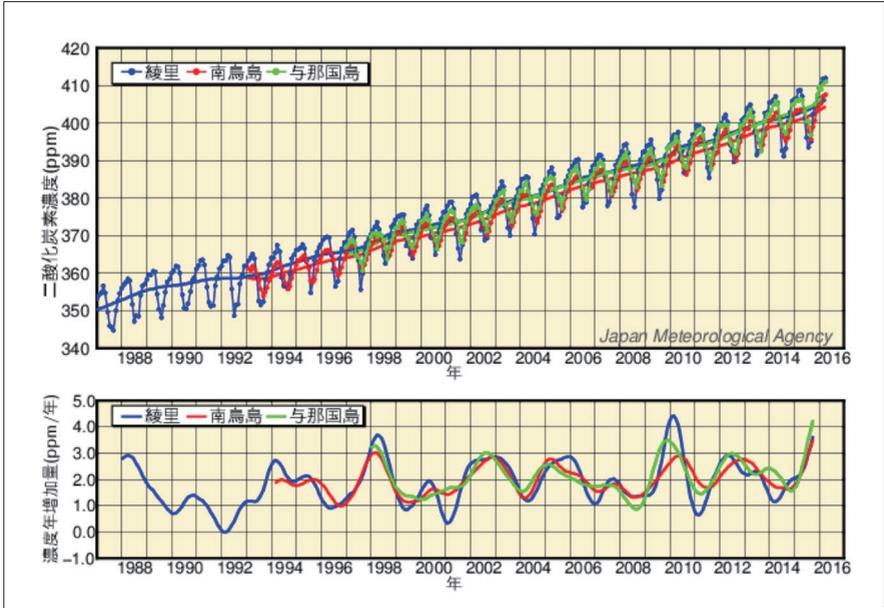


図1 日本の二酸化炭素濃度(気象庁)

図1は、日本の二酸化炭素濃度の変動を表した図です。この変動をよく見ると、きれいな周期的な変動を毎年繰り返しているのが分かります。ちょうど、9月頃から3月頃まで二酸化炭素濃度が上がっています。その後、3月頃から9月頃まで二酸化炭素濃度が下がってくるといった感じですが。この年変化の理由は、植物の光合成です。光合成が非常に活発になっているのが、3月から9月で、二酸化炭素濃度が下がってきます。この期間は、私たちが人間活動によって出している二酸化炭素量に対して、植物が吸収している二酸化炭素量の方が多くなります。

ところが、秋になりますと、植物は葉を落とします。常緑樹は、葉をつけたままですが、低温で光合成活性が非常に低くなります。その結果、人間活動によって排出される二酸化炭素によって、濃度が上昇するという変動を示します。この下がる部分、上がる部分で必ず差があり、上がる部分の方が多いので、常にその増加分によって二酸化炭素濃度が上がり続けます。

植物が二酸化炭素をよく吸収することは分かりますが、実際に日本の森林、あるいは世界の森林が炭素の吸収源かどうか、吸収源ならどの程度吸収能力があるかということ測定する必要が出てきます。森林と大気の間、二酸化炭素の交換の各要素を考えてみます。私たちは、森や植物というと、二酸化炭素を吸収するばかりだと思いがちですが、実際に二酸化炭素を吸収している部分というのは、森林において、葉の部分です。さらに、日中だけ吸収します。夜間になると、葉の部分でも呼吸して二酸化炭素を出します。また、幹や枝も、私たちの皮膚と同じように呼吸をしていて、二酸化炭素を出しています。また、土壌にはたくさん有機物がありますし、植物の根もあるので、微生物の呼吸や根の呼吸によって二酸化炭素が出てきます。さらに、森林を生態系ということで見ますと、林床にもたくさん植物がありますから、光合成と呼吸を行っています。

森林自体が二酸化炭素をどの程度吸収しているかを定量的に測ろうとすると、この一つ

一つの要素を押さえるという非常に難しい仕事になります。そこで、今、行われているのは、森林の上に一つの面があると仮定して、この面を行き来する二酸化炭素の量「CO₂フラックス」を測る方法です。このように、森林生態系が二酸化炭素をどの程度吸収しているかを、年間を通じて測ろうという試みが、ここ20年ほど行われています。これを1日あるいは年間で積算することで、その森の炭素の固定量（二酸化炭素として炭素を蓄える量）の算出が可能になります。

ここで、専門用語の解説をします。森林の炭素交換量を考えるときに、三つの用語があります。一つは、光合成によって二酸化炭素を吸収して有機物をつくる生産量です。これが「総生産量（GPP）」と言われるものです。次に、生産された有機物の一部は呼吸によって分解されますが、植物の呼吸、そして土壤微生物の有機物の分解によって、二酸化炭素として出ていきます。この出ていく方を「生態系呼吸量」と呼んでいます。実際に、森は、吸収と放出を、ほぼ同時並行で行っています。したがって、その森が、二酸化炭素を吸収しているのかどうかを調べるには、この二つの差をとります。これが「純生態系炭素固定量（NEP）」と言われるもので、これを森の上部で私たちは測っています。

富士山のカラマツ林の測定サイトの例を紹介します。写真1にあるように、45メートルのタワーをつくって測定しています。カラマツの森の上に、まだ20メートルほどタワーが



写真1 富士北麓フラックス観測サイトのCO₂フラックス測定用タワー
(望月智貴氏提供)

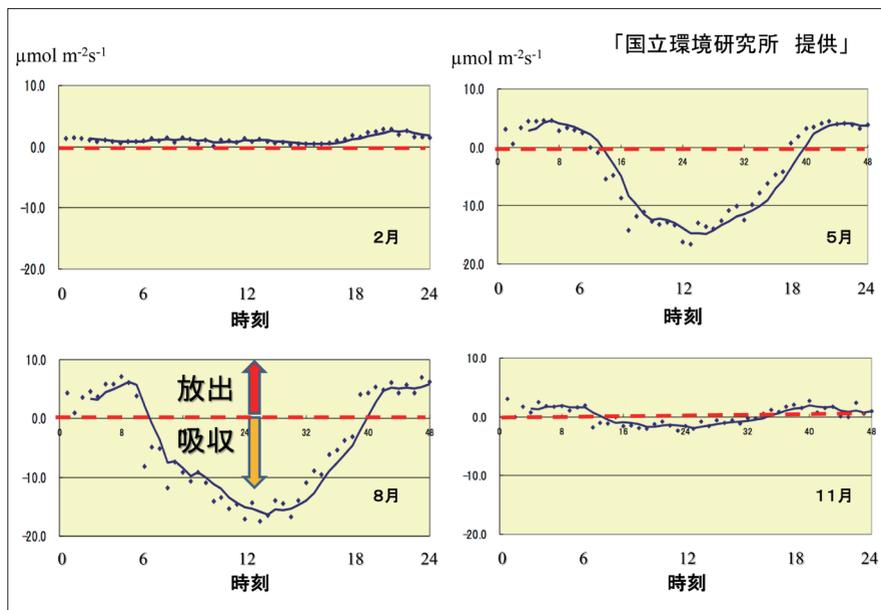


図2 富士北麓フラックス観測サイトにおけるCO₂フラックスの日変化

伸びている状況です。ここで、オーブンパス赤外線CO₂計という特殊な機械を使って、二酸化炭素が上に移動しているか下に移動しているかを測っています。つまり、下に移動している場合には森林が二酸化炭素を吸収していることになります。この場所は富士山の北側にあり、国立環境研究所が中心になって測定をしています。私たちもここで、いろいろな物質の交換量を測っています。

図2は、2月、5月、8月と11月に、森林がどの程度二酸化炭素を吸収しているかを示しています。先ほどお話ししたフラックスというものです。赤い点線がフラックスがゼロ

のラインです。6時から18時ぐらいの日中は、二酸化炭素が下向きに移動しており、森林に吸収されていることを表します。5月や8月は、ちょうど葉がある時期です。11月はもう黄葉で落葉寸前です。2月は落葉した後で、積雪期です。季節によつて森林の二酸化炭素の吸収量が大きく違うことがわかります。これを年間で見てみますと、積雪期、それから雪が溶けた後でも、葉が出る前までは、ずっと二酸化炭素は放出側になっています。葉が出てきますと、徐々に吸収側になり、10月の終わり頃まで、このカラマツ林は二酸化炭素を吸収しています。そして、また11月頃から放出に転じます。これを年間で足し算して、この森が実際にどの程度二酸化炭素を吸収しているかを計算します。こういった測定が世界各国の森林で行われています。

このような測定データを集めて、温度との関係を示したものが図3です。総生産量は、きれいに右上がりの直線関係になります。つまり、温度が上がると植物の光合成量や総生産量も上がります。一方で、呼吸量ですが、植物がつくった有機物の一部は、分解されて呼吸に使われ、土壌に降り積もった有機物も分解されて呼吸に利用されます。こういったものも温度とともに上がってきます。しかし、注意が必要なのは、この上がり方の勾配が、徐々にきつくなってくるということです。

私たちが森林で測定していき知りたいのは、吸収している量と放出する量の差です。吸

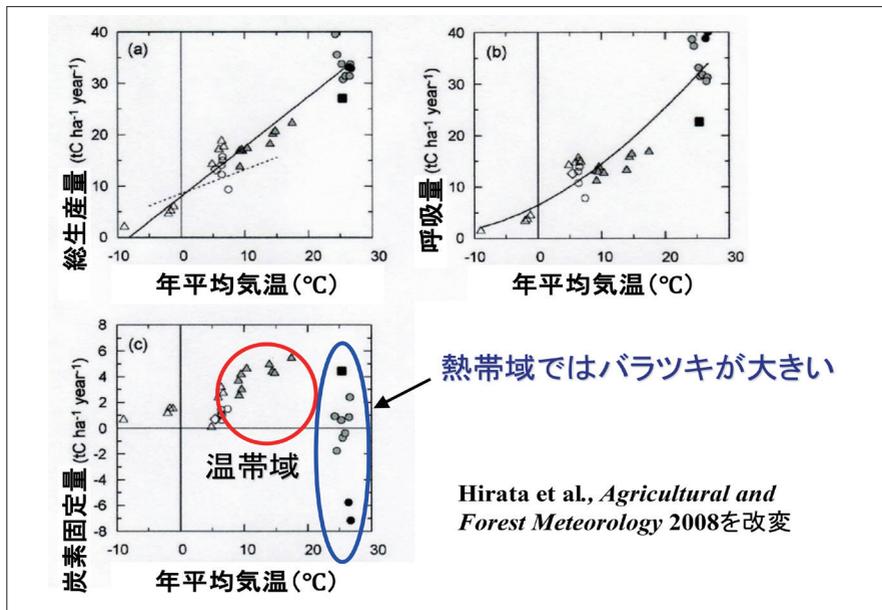


図3 測定サイトの総生産量、呼吸量、純生態系炭素固定量

収している量の方が多ければ、その森は二酸化炭素の吸収源になります。逆に放出する方の量が多ければ、この森は二酸化炭素の放出源になります。実際に、この二つの差を取ると、図3の下段の図のようになり、日本を含む温帯域においては、年間の森の炭素の固定量は、1ヘクタール当たり2〜6トンほどになります。日本の森林は炭素を固定していることになりませんが、熱帯を見ますと、固定しているところもありますが、逆に放出しているところもあります。温度が高いところになると、呼吸の上昇の程度が非常に大きいため、逆に森が二酸化炭素の放出に

回る場合もあります。今後の地球温暖化の進行によって、温帯域においても温度が上がってきますと、このように呼吸量がかなり高くなってきた、森の二酸化炭素の固定量が下がってくることも十分考えられます。そういった意味で、この呼吸というのが非常に大事になってきて、私たちが注目している部分です。

世界のデータを持ち寄って、世界の森で、1ヘクタール当たり年間で炭素をどの程度固定しているかを計算しますと、平均値で1ヘクタール当たりの森で約2トンが吸収されていると算出されます。今までの測定で、森林は二酸化炭素の吸収源かどうかと言うと、日本の森林においては、もちろんそうです。1ヘクタール当たり2〜6トンの炭素を吸収しているということになります。ただし、地球上の森林全てには当てはまらず、熱帯林あるいは北極圏などの脆弱な森林植生では、逆に炭素を放出する場合があります。特に、温暖化が進めば、土壌中の有機物の分解が早まって、二酸化炭素の放出が増えてくる恐れがあり、森がいつも二酸化炭素を吸収してくれるとは限らないということになります。

日本の森林面積は2512万ヘクタールです。国土の70%弱が森林という非常に豊かな国です。私たちの測定で、森林が1ヘクタール当たり、2〜6トン二酸化炭素を炭素という形で固定していることが分かりましたので、平均値の4トンとして、1年間で日本の森林がどれぐらい炭素を固定しているかを計算してみましょう。これは講義で学生によく出

す問題です。

1990年度の二酸化炭素排出量は、これは化石燃料の使用量から計算できますが、日本全体で3億2000万トンあります。一方、森林の炭素の固定量は、森林面積を2500万ヘクタールとして、4をかけて「1億トン」と出てきます。つまり、日本の森林は1億トンの炭素を吸収しています。日本から出る炭素は3億2000万トンありますので、この差を埋めるのは困難だと考えます。もちろん森林は、生物多様性を始め、いろいろな意味で大事ではありますが、幾ら森を大事にし、幾ら木を植えても、この3億2000万トンという二酸化炭素の排出量を日本の森林ですべて吸収することは明らかに不可能です。そうなると、私たちが地球温暖化を食い止めるためにできることは何かというと、二酸化炭素の排出を抑えることになります。したがって、こういった問題は必ずエネルギー問題に関わってくることになります。

■ エネルギーのスマート革命 — 10年後の静岡を考える

私は、数十年後には二酸化炭素(CO₂)の排出量と吸収量が均衡する世の中になると思います。その時、考えなくてはならないことは、二酸化炭素の排出量を極限まで下げたうえで均衡させなくてはならないことです。

それでは一体、二酸化炭素の排出量は、何に起因し、何に影響するのでしょうか。エネルギーを燃やすと二酸化炭素が発生することは、皆さん御存じだと思います。したがって、エネルギーの使用量と二酸化炭素の排出量はとても相関が強いということになります。

さらに、エネルギーの中に含まれる炭素の数も大きな要因です。石炭は元素記号が「C」だけですが、都市ガスはメタンが主成分ですから「CH₄」ですし、水素燃料は「H₂」ですから、水素に酸素が結合する酸化反応を起こしても、「H₂O」のみ発生し、CO₂は発生しません。

次に、このエネルギーの使用量は何に起因するのかというと、それは経済成長です。経



中井 俊裕 [なかい としひろ]

静岡ガス株式会社執行役員エネルギー戦略部長

1962年静岡市生まれ。1986年宇都宮大学工学部工業化学科卒業。同年静岡ガス株式会社入社。1991年財団法人日本エネルギー経済研究所出向(エコノミスト)。2005年静岡ガス株式会社産業エネルギーグループリーダー。2012年同企画部エネルギー・環境戦略担当マネジャーを経て、2014年より現職。

専門：環境経済学（環境、エネルギーシステム、省エネルギーなど論文多数）

済の規模が大きくなるとともにエネルギーの使用量が増えてきました。したがって単純に二酸化炭素の排出量を下げようとしたら、経済成長を止めてしまえばよいわけです。「経済成長を断念して江戸時代の生活に戻りますか」というお話が分かりやすい例だと思いますが、それでは人類の発展は望めません。経済成長を持続させながらも二酸化炭素の発生量を抑える世の中をつくらなければなりません。最初の解決方法として、良質な燃料への転換や再生可能エネルギーの導入が挙げられます。

次の段階として、エネルギーの生産効率と消費効率のシステムの高度化が挙げられます。エネルギーの生産効率、海外から輸入した石油などを使って発電するときの変換効率、いわゆる発電効率を少しでも上げていかなくはなりません。それから、例えばエネルギーを消費するエアコンなどの効率を上げていくことが望まれているのだと思います。

さて、今日のテーマである「10年後の静岡を考える」を考える上で、まず、過去について考察してみます。過去、我が国は経済成長によって、電力の消費量が伸びてきました。そのような時代において、必要だったのは大規模な集中発電所と大送電網でした。また電気の商品としての特徴は、貯められないということと品切れを起こすことができないということです。お客様が、好きな時に好きなだけ使うことができるようにシステムを作り上げてきました。今、ここにA社のペットボトルのお茶がありますが、例えば、これを飲み

たいといつて、コンビニに行きましたが売り切れだった場合、皆さんはどうしますか。「他のメーカーの商品で代替しよう」、「隣のお店で買おう」など、他の選択肢がありますが、電気の場合は停電になってしまいますから、品切れは許されません。使われる分だけしっかり発電して、届けなくてはならない仕組みだったと思います。

では、今後10年でどうなるのでしょうか。ポイントの一つが「住宅が発電所になる」ということです。太陽光パネルや「エネファーム」が住宅に設置されて、電気自動車が普及してきます。恐らく、新築住宅はほぼ100%太陽光パネルが屋根につくことになるでしょう。そうすると、これまで電気の消費一辺倒だった住宅が電気のプロデューサーという側面も持つこととなります。そんな生活者の変化を「プロデューサー」と「コンシューム」を組み合わせた、「プロシューマー化」と言っています。しかし、すべてが自分で発電した電気で賄うことができない時があります。その時は、電気自動車に貯めておいた電気を住宅で使うことも考えられますし、さらに、それでも賄えない時は電力会社からバックアップを受けることになるでしょう。住宅内の電気製品もIOT技術を使って、どのくらいの電気が、どのようなパターンで消費されているのかということが、漏れなくデータ化されて、それがAIによって予測される、そのうえでバックアップする電力会社とうまく連携が取れたら、とても効率の良い社会になるのだと思います。

既に現実として、静岡県内ではパナソニックが製造している「エネファーム」という家庭用燃料電池、給湯と発電が一緒にできる機器が普及し始めています。この発電機は、燃料電池ですから、都市ガスから水素を取り出して、その水素と空気中の酸素を化学反応させて、電気をつくりだして住宅内に供給するシステムです。「ダブル発電」というのは、この「エネファーム」と太陽光発電の両方が設置されている住宅のことを指しています。弊社では、2011年に、このような住宅に電気をつくる側と使う側を調整する「HEMS (Home Energy Management System)」というコントローラーを設置して、エネルギーの需給データを弊社のコンピュータに送って、データ解析を行う循環型のシステムを三島市内につくりました。恐らく10年後には住宅の在り方が大きく変わって、いつの間にか省エネになっっているような生活になると思います。

このような住宅が普及することで、エネルギーの消費量が大幅に削減されて二酸化炭素が減少していくのです。先ほどお話しした、エネルギーを作り出すことの効率化と消費の効率化をシステムとして築くことが必要ですし、10年後は超省エネ社会になっていると思います。

ポイントの一つが「家庭が発電所になる」ということでしたが、二つ目は「本当の省エネルギーとはどういうことか」を皆さんに考えていただくことです。省エネ、省エネと言

いますが、節電することと混同されてはいないでしょうか。発電するときの効率、使うときの効率、そして運用による節電と幾つかの段階で省エネは進められます。

さらに地域として、エネルギーを地産地消するようなモデルも現れるでしょう。2014年7月に静岡ガスの子会社として「静岡ガス&パワー」という電力会社を設立しました。この会社のビジネスモデルについてお話しします。

住宅や工場に発電設備が設置されますので、それに伴って余剰電力が発生します。そこで、その余剰電力を「静岡ガス&パワー」が買い取って市内に販売しています。このようなシステムを構築して2016年4月から電力ビジネスを行っていますが、2030年頃になると、自治体ごとに、こういった小さな電力会社が多く存在するようになると思います。地域の未利用エネルギー、余剰発電能力と消費者を結びつける役割を担うような会社が生まれてくると思います。

今日のまとめとしては、二酸化炭素削減のためには、省エネを進めていくことが重要ですが、節電運動のような運用だけの省エネ活動では効果は大きくありません。したがって、システムとして、どうやって今後10年間を進めていくのかということが、エネルギー分野のテーマだと思っています。

■南海トラフ地震の予測に向けて

はじめに

皆さん、御存じですか。静岡県には、静岡県総合計画があり、「住んでよし 訪れてよし」、「生んでよし 育ててよし」、「学んでよし 働いてよし」を目指すとうたっています。静岡県は、そのような県を目指すべきだと思いますし、目指せるのは静岡県しかないと思います。しかし、課題が多いのも事実です。

例えば、人口減少や人口流出です。これは、10年後の静岡を創るスーパーセミナーの中でも議論の対象です。また、経済の持続的発展や地球環境の温暖化・二酸化炭素の削減、そしてICTの活用は、グローバルな課題ですが、静岡県として考えていくことも重要です。他に静岡県が避けられない課題は何でしょうか。例えば、南海トラフ地震のリスクとどう共生していくかが喫緊の課題ではないでしょうか。今日は、この課題に対して、地震予測・



楠城 一嘉 [なんじょう かずよし]

静岡県立大学グローバル地域センター特任准教授

1973年生まれ。1996年静岡大学理学部地球科学科卒業。1998年東北大学大学院理学研究科博士課程前期修了。2001年同大学院理学研究科博士課程後期修了。博士(理学)(2001年東北大学)。スイス連邦工科大学スイス地震局、東京大学地震研究所などを経て、2016年より現職。静岡県立大学グローバル地域センター地震予知部門総括。2017年から静岡大学防災総合センター客員准教授などを務める。静岡県石油コンビナート等防災アセスメント調査技術検討会委員(2016年～2017年)などを歴任。専門：地震学

予知という観点からお話を進めていきます。

なぜ地震予測・予知が難しいのか

そもそもなぜ地震予測・予知は難しいのかというお話から始めます。幾つか理由はありますが、大きく三つに分けられると考えています。一つ目の理由は、地下の力やひずみを直接測れないことです。もし計測できれば、地震は力学現象なので、地震の挙動が分かるはずです。従って、地震予測・予知に有効な手法になり得る可能性が出てきます。しかし、地下深くで地震が起きるので、力やひずみを直接測れません。例えば、2016年の熊本地震の破壊開始点は深さ12キロでした。また、2011年の東北地方太平洋沖地震の破壊開始点は深さ24キロでした。非常に深い地震もあり、深さ600キロの地震もあります。

そうは言っても「地表で断層が見えるのではないか」という声が聞こえてきそうです。これは、地下で起きた地震の破壊が地表まで到達した結果です。つまり、これは副次的な現象を見ているに過ぎないのです。

それでは、地下を実際に掘って、地震が起きる深さの力やひずみを測ったらどうかと思いませんか。旧ソビエト連邦が行った地球の地殻深部を調べる科学的掘削計画で、深さ12

キロまで掘ったのが世界記録です。実は、15キロまで掘削する計画だったのですが、地温が非常に高く、断念した経緯があります。地震が起こる深さに到達するまで掘るのは難しいのが現状です。現在、研究者が行っていることは、力やひずみを推定することなのです。

二つ目の理由は、地震発生前の前兆的なゆっくり滑りの検知が難しいことです。例えば、ユーラシアプレートの下にフィリピン海プレートが沈み込んでいる南海トラフの状況を想像してください。沈み込みにより、プレート境界周辺に徐々にひずみがたまっていき、耐えられなくなると、プレート境界で大規模地震が起きます。その発生前にゆっくりとした滑りが発生すると考えられており、その滑りを観測しようというのが、地震予測・予知のシナリオです。

ただし、このシナリオのようには、事が進まないようです。ゆっくり滑りは、実験室やシミュレーションで再現でき、地震を模倣した模擬地震の前にゆっくり滑りが確認されています。では、実際の地球ではどうでしょうか。地球でもゆっくり滑りが観測されますが、そのゆっくり滑りが急に大地震に発展したり、ゆっくり滑りが起きても大地震は発生しなかつたりすることが分かりました。また、ゆっくり滑りが非常に複雑な振る舞いをすることも分かってきました。例えば、東北地方太平洋沖地震の前に、ゆっくり滑りがあったのですが、滑ったり止まったりしながら何回かに分けて起こりました。前兆的なゆっくり滑

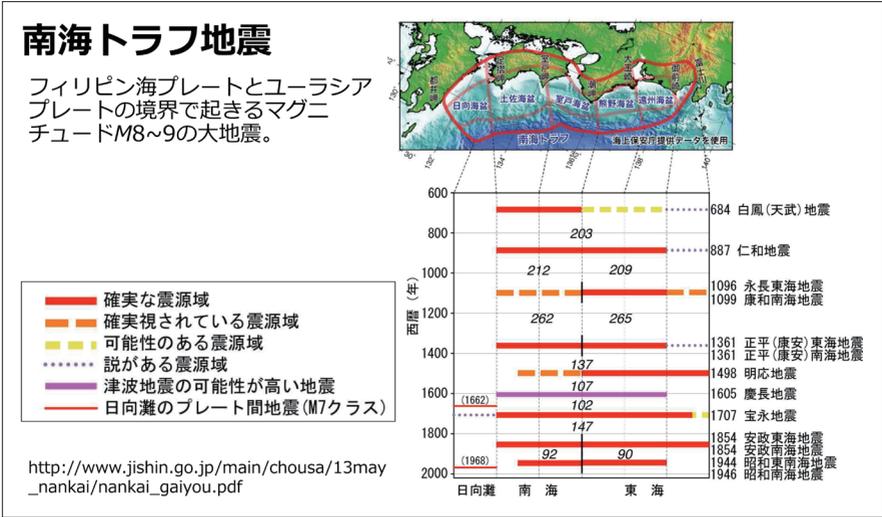


図1 南海トラフで発生する地震の多様性。南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)概要資料(地震調査研究推進本部)を一部加工して作成。

りを捉えて地震予測・予知をすることは難しそうです。

三つ目の理由は、地震の繰り返し記録が少ないことです。日本で最も多く繰り返し確認されている地震は、どの地震でしょうか。それは、南海トラフ地震です。

図1は南海トラフで発生する地震の多様性を示しています。図の縦軸は、時間を表しており、上端が西暦600年、下端が現在を示します。横軸は、南海トラフの空間的位置を表しており、東端は駿河湾、西端は日向灘を示しています。図に描かれている横棒は、その地震の東西方向の破壊域を表しています。例えば、

887年に起きた仁和地震は、南海から東海まで破壊した地震であることを示します。この図から、地震が繰り返し発生していることは分かります。しかし、破壊域の広がりにはらつきがあり、発生間隔にもばらつきがあることが分かります。

何回も規則正しく繰り返し起きた地震の記録があれば、次の地震が予測できると思います。しかし、最も詳しく調べられている南海トラフでも、9回程程度の繰り返しです。さらに、その地震の振る舞いは非常に複雑です。

ましてや、活断層で起きる内陸地震は、南海トラフ地震より繰り返し間隔が長く、それは1000年か、それ以上です。繰り返し間隔が長いので、確認されている繰り返し回数が少ないのです。

地震予測・予知の分類

このような中でも、我々は地震と共生しなくてはなりません。地震予測・予知について理解し、どのように防災へ活用できるかを整理して考える必要があります。ここでは、時間スケールで三つに分けて整理します。

一つは、長期的な時間スケールのもの、10年かそれ以上を単位とする地震予測です。こ

の類のものは、「確率論的地震動予測地図」（地震調査研究推進本部）で用いられています（http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/）。都市計画や長期防災計画の策定などで参考にされています。

皆さんがよく目にするものは、毎年公表されている今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の図ではないでしょうか。どこで地震が起こるかに関わらず、日本の各地点で、次の30年以内に震度6弱以上で揺れる確率を示している図です。赤い所ほど確率が高くなっており、西日本の太平洋側が赤いのは、南海トラフ地震が想定されていることが大きく寄与した結果です。

今後の課題は、短い時間スケールの地震予測・予知の実用化になります。中期的な地震予測はその一つです。時間スケールは数年または数か月程度です。来るべき地震に対して、防災啓発をし、防災体制の整備・見直しをする猶予がある時間スケールと考えられます。より時間スケールの短いものは、数日前または、もっと短い時間スケールの予知で、いわゆる短期直前予知と呼ばれます。この時間スケールの猶予は、皆さんの御想像どおり、主に人命被害の軽減のための避難対策や、食料備蓄・仮設住宅の準備などの危機管理のためです。一般に時間スケールが短くなるほど、地震予測・予知の技術開発は難しいと考えられます。

地震予測・予知の可能性を探る研究の必要性

長期的な時間スケールの予測以外は実用化の可能性が無いかというと、そうとは言いきれないようです。その理由として、実際の東北地方太平洋沖地震に先んじて、いわゆる先行現象と考えられるいくつもの現象が観測されたことが挙げられると思います。その他にも多数の理由はあると思いますが、今回はこの話題を取り上げます。数年の時間スケールの現象として、「*b*値」という指標で見た地震活動の変化が挙げられます。*b*値については後で説明します。その他として、GPSで観測する地殻変動やラドンの変化、そして、地震活動の活性化や静穏化、潮汐と同期する地震発生などがあります。数か月や数日またはそれより短い時間スケールの現象として、地下水・温度の変化や電離圏異常、そして直前の前震活動やゆっくり滑りなどが挙げられます。

実は、このような変化が捉えられるようになったのには理由があります。その理由の一つとして、1995年の兵庫県南部地震を契機に、国が整備を始めた基盤観測網が継続的に運用され、日々蓄積される大量で良質なデータが利用可能であることが挙げられます。この結果、地殻変動の小さな揺らぎを捉え、また小さな地震まで検知できるようになりました。こういったデータを上手に使い、地震予測・予知を検討する必要がある

と考えています。

静岡県地震防災ガイドブックを見ますと、南海トラフ地震では数分で津波が来る恐れがあると言われています。静岡県は、1970年代の大震法の制定以来、防災対応に力を入れてきました。対応強化は、地震予知ができる、できないに関わらず、進めてきたものです。不意打ちに対しても十分な対策が進められています。もしそうならば、事前情報をうまく使ってさらに被害軽減の可能性を探る、つまり防災対策の一步先に行くことを静岡県として考えるのは意味があるのではないのでしょうか。我々の研究グループは、そのような意識を持って、地震予測・予知の研究を進めています。

b値

ここから研究のお話をします。我々の研究グループは、「b値」というものに注目しています。

地震は、大きい地震ほど少なく、小さい地震ほど数が多いという性質があります。横軸にマグニチュード M 、縦軸に規模が M 以上の地震数 N を対数で取りますと、直線関係が成り立ち、グーテンベルグ・リヒター則と呼ばれています： $\text{Log}N = a - bM$ (a 、 b は定数)。

直線関係の傾きを b 値と言います。一般に、 b 値は1程度ですが、地域ごとに時間によって大きく変化します。 b 値が大きいということは、比較的小さい地震が多く、逆に b 値が小さいということは、比較的大きい地震が多いことを示しています。

岩石破壊実験から、岩石に係る力（差応力）が大きくなるにつれて、 b 値が小さくなり、最終的な岩石全体の破壊に至るという結果があります。もし岩石実験の結果が適用でき、大地震が力の高い場所、時間で発生するならば、 b 値は地震直前、近傍で小さくなる仮説がたてられます。地震学でいう、地震時に破壊する固着域（アスペリティ）の推定ができるので、地震予測・予知に有効である可能性があります。

この仮説を東北地方太平洋沖地震で検証しました。図2は、東北地方太平洋沖地震前に起きた地震を用いて b 値を示したものです。左図の赤い所は b 値が小さいことを示しており、力が高いと考えられる場所を示します。

その図の上に、東北地方太平洋沖地震の破壊開始点を星印で示し、滑り量をコンターラインで示します。破壊開始点を含み大きく滑った所では b 値が小さい、つまり、固着域であることが分かります。また、右図に大きく滑った所を取り出して、 b 値の時間変化を見ますと、徐々に b 値が小さくなり、東北地方太平洋沖地震の発生に至ったことがわかります。

図3は、 b 値の仮説を熊本地震に当てはめた結果です。熊本地震の起こる2日前から前震

東北地方太平洋沖地震の大滑り域と低**b**値が一致

b値の時間変化から、大滑り域で応力が時間とともに増加したことがわかる。

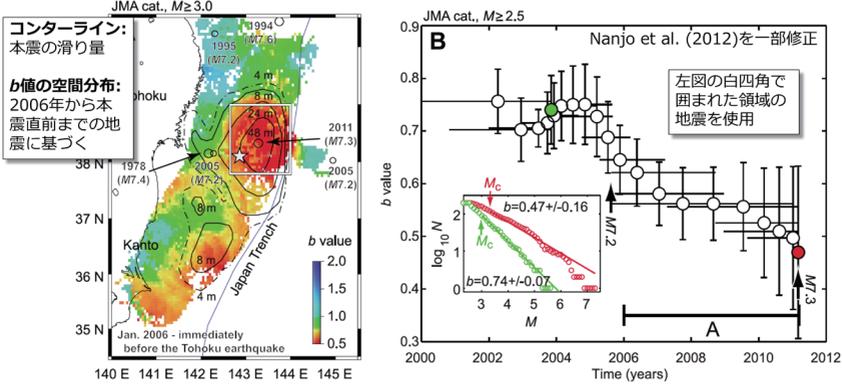


図2 東北地方太平洋沖地震についての**b**値の解析。
Nanjo et al. (2012, Geophys. Res. Left.) を一部加工して作成。

熊本地震の前震・本震の付近では**b**値が小さい

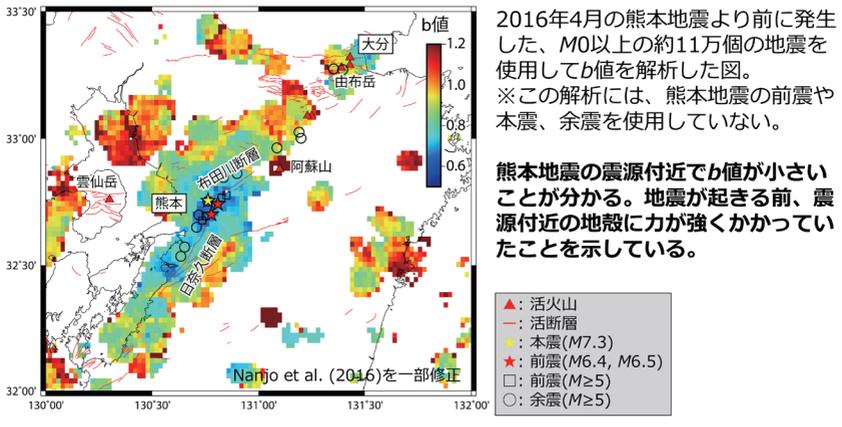


図3 熊本地震についての**b**値の解析。
Nanjo et al. (2016, Earth Planet Space) を一部加工して作成。

活動がありました。その前震活動より前の地震活動を用いて b 値を求めた図です。この図では、青い所ほど b 値が小さいことを示しています。

前震活動が日奈久断層の北側で起こり、 $M7.3$ の本震が布田川断層の西端付近で起こりました。前震活動や本震の破壊開始点は b 値の小さい所、つまり、力が高い所と一致していることがわかります。

熊本地震も東北地方太平洋沖地震も、仮説を支持する結果のようです。「では、南海トラフではどうか」が気になります。実は、南海トラフというのは、地震活動が総じて低調なことでは知られており、 b 値を計算するために十分な地震のデータを準備することが難しい状況でした。しかし、国の基盤観測が充実したことで、南海トラフで小さい地震まで漏れなく観測されデータが蓄積されて、 b 値の解析ができるようになりました。やっと研究のスタートラインに立ったということです。

予察的ではありませんが、南海トラフの b 値の解析をしました。南海トラフの地震活動は低調なので、 b 値の地域差は小さいと予想していましたが、実はその逆でした。南海トラフの b 値は非常に複雑な空間パターンを示していました。プレート間の固着が強い所や弱い所があるように見えました。今後さらに結果を精査する必要があります。

似たように、南海トラフの固着状況を把握する研究が海上保安庁で行われています。海

底地殻変動観測を実施し、南海トラフのひずみ（正確には、プレート間すべり欠損速度）を計測し、固着の強い所や弱い所の推定が可能となってきました。複数の機関で、南海トラフ地震の予測へ向けて準備が進みつつあります。

おわりに

静岡県の地震予測・予知の研究は、命を守るためのものです。つまり、津波が数分で到達する可能性がある静岡県にとって、南海トラフ地震の前の情報を上手に活用して、災害の軽減を目指す研究は、防災の一環だということです。

南海トラフの地震予測・予知へ向けた研究は開始されたところですが、さらに進展した場合に備えて、地震予測・予知の情報を防災対応へ活用する方法を考えることは重要です。ICTやAIに基づくアプローチは重要になると考えており、今後、この観点から防災研究を進める予定です。

ICTの進化が支える静岡の防災

はじめに

最近よく聞く「ICT」というのは、「Information and Communication Technology (情報通信技術)」の頭文字を取ったものです。以前は「Information Technology (情報技術)」の略称の「IT」の方が使われていました。似たような略称に「IoT」があり、「Internet of Things (物のインターネット化)」で、いろいろな機械をインターネットにつなげて、より便利にしようというものです。

現代は情報化社会で、ヒト・モノ・カネ、さらに情報という形で、情報が価値を持っています。そして、私たちは、コンピュータやそれを使った様々な情報システムの恩恵を受けています。コンピュータを使う場合、パソコンのように目の前に形が見えているvisibleな(目に見える)コンピュータと、自動車のコンピュータ制御のような裏方で目の前に見え



湯瀬 裕昭 [ゆぜ ひろあき]

静岡県立大学経営情報学部教授

1963年生まれ。1986年秋田大学鉱山学部電子工学科卒業。1988年秋田大学大学院鉱山学研究科修士課程修了。2008年東北学院大学大学院人間情報学研究科博士後期課程修了。博士(学術)(2008年東北学院大学)。1988年秋田県立西目高校電子機械科教諭。1991年静岡県立大学経営情報学部助手。1996年同学部講師。2002年同学部助教授。2007年同学部准教授(職位名称変更)。2014年より現職。静岡県立大学大学院経営情報イノベーション研究科附属ICTイノベーション研究センター長。

ないinvisibleな(目に見えない)コンピュータに分けられます。電気炊飯器は、昔は「マイコン炊飯ジャー」など、わざわざコンピュータ内蔵と言っていたのですが、コンピュータ内蔵が当たり前になり、今はあえて内蔵と言わなくなりしました。このように、invisibleなコンピュータを様々ところで使っているのが当たり前の社会になりました。

コンピュータが普及し、さらに物がインターネットにつながりますと、いろいろなところからデータが出てきます。例えば、スマートフォンや携帯電話などからは、ログデータなどの形で、データがたくさん出てきます。そういう大きなデータのことを「ビッグデータ」と呼んでいます。

日本は地震が多い国です。21世紀に入ってからも、たくさん地震が起こっています。全国地震動予測地図2016年版の震度5強以上の日本地図を見ますと、ほとんどの箇所が真っ赤となり、日本のどこでも地震が起こる可能性があることが分かります。

そして、災害は地震だけではありません。「2016年自然災害10大ニュース」を見ますと、1位は「終わらない熊本地震」ですが、2位は「迷走台風」となっています。その他、北海道に台風上陸や火山の噴火など様々な自然災害が挙がっています。

このような自然災害に加え、交通機関の障害、電気設備の障害などが起こりますと、普段当たり前にできていることが当たり前にできなくなります。例えば、地震や津波、

台風で建物に被害を受けますと、衣食住が損失します。その他にも停電、交通機関の不通といった社会インフラが使えなくなります。場合によってはICTも使えない事態が起こります。

東日本大震災

東日本大震災の特徴は、津波による被害が大きかったことと、原子力発電所の被害を含めた発電所の被災・停止により、停電が長く続いたことです。十分な自家発電設備などがあれば、こうならなかったのかもしれませんが、当時はまだそういった状況ではありませんでしたので、電力の不足といったエネルギー問題が起こりました。震災当日(2011年3月11日)の停電発生状況を確認しますと、東北の停電率がかなり高くなっています。電力の復旧も、東北電力管内では、場所によっては数日かかっています。通信関係でも、NTT(加入電話やフレッツ光など)、NTTドコモ、au、ソフトバンク・モバイルなど、過大な被害を受けています。

固定電話では、NTT東日本がピーク時で100万回線が不通となり、KDDIもピーク時で40万回線が不通となりました。ただし、地震が起きてすぐ使えなくなったのではなく

くて、不通のピークが地震翌日の土曜日となっています。実は、多くの通信設備が地震の被害は免れたのですが、燃料がなくなる、あるいはバッテリーの電気がなくなるといったエネルギー問題が原因でした。このエネルギー問題を解消できれば、状況はもつと違っていたのではないかと思っています。

携帯電話も同じような状況で、不通のピークが土曜日で、通信基地局の破損などの問題もありますが、やはりエネルギーが切れてしまったことが問題でした。音声通信に関しては、輻輳しないよう通話規制がかかっていました。

熊本地震

2016年4月に熊本地震が起きました。熊本地震の特徴は、震度7の地震が連続して起こったこと、大きな余震が続いたことです。また、通信関係のインフラの復旧は比較的早く、停電からの復旧も比較的早かったことも特徴として挙げられます。通信関係の被害を、NTT西日本、NTTドコモ、au、ソフトバンク・モバイルについて確認しますと、東日本大震災に比べると被害が少なかった状況です。

携帯電話の基地局の停波局数推移では、東日本大震災と同様に、地震発災直後ではなく、

少し時間が経ってから増えていきます。ただし、この数は、東日本大震災に比べると少なくなっています。

また、熊本地震では、東日本大震災と異なり、電気もあつて、通信もできたというところで、インターネットが非常に活用されました。特に、ソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)と言われるTwitter、Facebook、LINEが活用され、Twitterは情報発信のために、LINEは情報共有のために特に使われました。

例えば、LINEで助けを求め、駆けつけた知人や消防団の人たちに助けられるといったことがありました。また、Twitterの場合は、ハッシュタグ「#救助」をつけて救助要請をしようということでした。しかし、実はこのハッシュタグのつけ方や救助の仕方についての情報発信が多く、肝心な救助要請が埋もれてしまうといった問題がありました。その他、「川内原発で火事」や「ライオンが逃げた」などのデマ情報が出ました。川内原発の情報では、写真にゴジラが写っているためデマであることが分かりやすかったのですが、デマによっては「もしかすると」と思うようなものもありました。東日本大震災のときは、通信がほとんどできず、インターネットを活用できなかった場所があったのですが、熊本地震では逆に情報過多になってしまったということがありました。

防災・減災のためのICT活用

そのような状況を踏まえて、次に、防災・減災のためのICT活用についてお話しします。

まず、防災・減災でのICT活用ですが、既に様々なところで情報システムが使われています。今回は、災害前（平常時）、災害中（発災時、被災直後）、災害後（復旧・復興時）に分けて、それぞれで使えるシステムを幾つか取り上げて説明をします。

気象の数値予報

まず、気象の数値予報について、説明します。今の天気予報は、数値予報と言って、コンピュータで計算して行っています。数値予報の概念は、簡単に言いますと、地球を細かくマス目に区切って行って、そのマス目に風向きや気温、湿度などの初期状態を入れていき、それが物理法則によってどのように変化していくかをシミュレーションすることで天気予報ができるということです。

高解像度降水ナウキャスト

シミュレーションするためには初期状態を与えなければならぬものですから、気象観測で初期値を与える必要があります。そのためにアメダスや気象レーダーなどを使っているいろいろな情報を得ています。この膨大な情報を使って気象観測、数値予報をしていますが、それを高度化したものの一つに「高解像度降水ナウキャスト」があります。これは、1時間以内の降水予測をするもので、30分先については、大気を250メートル四方の領域に区切って予測することができ、局地的大雨（ゲリラ豪雨）などの予測がしやすくなりました。

観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測

アメダスなどの気象観測システムは日本中にありますが、そこで得られるデータは観測場所が限られています。例えば、アメダスで陸上のデータは分かりますが、海上は分かりません。そういったところに関しては「ひまわり8号」やレーダーなどを使って、膨大な観測データを集めます。それが観測ビッグデータになります。また、観測ビッグデータとスーパーコンピュータ（スパコン）を組み合わせると、さらに高度な予測が可能

になります。

地震・津波の観測

日本全国に地震の観測点があります。特に静岡の場合は、東海地震に備えて、他のところよりも密に観測点が用意されています。

地震は、先に伝わるP波と、後から来る強い揺れで被害をもたらすS波の二つの波があります。緊急地震速報は、この波の速度の差を利用して地震発生直後に可能な限り素早く知らせようというものです。これを可能にしているのは、実はICTなのです。

地震の発生を素早くとらえる観測態勢が必要であること、少ない観測データから揺れや強さを速やかに予測する技術、そして検知した地震波や緊急地震速報を伝える情報通信の技術など、緊急地震速報はそういったICTに支えられています。

津波の観測も行われていますが、数値シミュレーションなどもされています。津波シミュレーションには時間がかかりますので、気象庁では、事前に日本全国で地震が起きた場合の津波は、ある程度予測してデータベース化してあり、それに基づいて警報を出しています。その他、東北大学などでは、それとは異なり、スパコンを使ったリアルタイム、例えば、

10分以内に浸水域を出すといった研究もされており、今後が期待されています。

通信網の強化

通信ができないと様々なことができなくなるため、通信網の強化が重要です。携帯電話の基地局では、基地局電源の強化や、基地局の大ゾーン化、衛星エントランス搭載移動基地局の用意などが行われています。熊本地震のときに被害が少なかったのは偶然ではなく、実はこのような備えをしていたからだと思えます。

静岡県立大学では、地上の被害の影響を受けにくい通信設備として、衛星インターネットと太陽電池などの独立電源を組み合わせた自立型防災通信ステーションを用意しています。

防災情報システム

静岡県は、防災情報システムとして、最初は「ASSIST」、次に「ASSIST・II」、現在は「ふじのくに防災情報共有システム（FUJISAN）」といった、災害情報の共有

などに使うシステムを用意し使っています。

その他のシステムとして、静岡県立大学の「安否情報システム」や、熊本地震で被災者のために使われた「被災者生活再建支援システム」などがあります。

今後のICT活用への期待

今後のICTへの期待として、防災・減災面では、パソコン「京」を使ったシミュレーションや、防災ビッグデータとしてTwitterの情報を解析する「対災害SNS情報分析システムDISANA」などの活用があります。また、地震の予測など様々なところで、機械学習や人工知能を使おうという試みが行われています。

防災先進県への期待

静岡県は防災先進県と言われ、1976年に東海地震説（駿河湾地震説）が提唱されて以来、地震対策に取り組んできました。その間、先ほど説明した静岡県の防災情報システムを運用し、さらにYahoo! JAPANと提携して、全国で初めて自治体の防災ブロッ

「静岡県災害情報ブログ」を開設しました。それから静岡県は県独自の防災士養成講座を実施していますが、静岡県の面積が広いため、静岡市にある静岡県立大学をメイン会場とし、沼津市、浜松市にサブ会場を用意し、遠隔講義システムを使ってそれらの会場とを結び、養成講座を行っています。静岡県では、防災に関連して様々な形でICTの活用が試みられています。

おわりに

防災のためには、ICTだけがあればいいのではなくて、ICTはあくまでもツールです。やはり人の力が必要です。自助・共助・公助という形で、まずは自分の身を自分で守ることが大切です。それができて、他の人を助けていける共助につながり、それから公助ということになります。そのためには、日頃から多面的に考えて備えていくことが必要です。どうしてもICTのことばかりをお話ししますと、「ICTでやればいい」と誤解をされる方もいるかと思ひまして、日頃の備えが重要だということを再度強調して今日の講演を終わります。

■ パネルディスカッション

● パネリスト（役職はセミナー当時のもの）

座長―静岡県立大学副学長

司会者―株式会社静岡新聞社・静岡放送株式会社シニアプロデューサー

静岡県立大学食品栄養科学部教授

静岡ガス株式会社執行役員エネルギー戦略部長

静岡県立大学グローバル地域センター特任准教授

静岡県立大学経営情報学部教授

小林 裕和

澤木 久雄

谷 晃

中井 俊裕

楠城 一嘉

湯瀬 裕昭

澤木 では、引き続き、講師の皆さんにお話を伺います。

楽観できない部分もありますし、一方で「この分野は、10年後、さらに我々にとってプラスの状況になっていくのだろう」と期待を感じさせるお話もありました。

いろいろな課題を、静岡に住む我々は克服していかななくてはならないのですが、この問



小林 裕和 [こばやし ひろかず]

静岡県立大学大学院薬食生命科学総合学府長・同大学大学院食品栄養環境科学研究院長・同研究院食品栄養科学専攻教授
(セミナー当時：静岡県立大学副学長・同大学大学院食品栄養環境科学研究院食品栄養科学専攻教授)

1954年生まれ。1977年鳥取大学農学部農学科卒業。1979年名古屋大学大学院農学研究科農芸化学専攻博士前期課程修了。1982年同大学院農学研究科農芸化学専攻博士後期課程単位取得満期退学。農学博士(1982年名古屋大学)。1983年～1984年米国ハーバード大学生物学教室研究員。1984年名古屋大学助手。1991年静岡県立大学助教授。1992年鳥取大学非常勤講師他。1993年岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所客員助教授。2003年静岡県立大学教授。2015年同大学副学長。2017年より現職。

専門：植物分子生物学

題は、静岡に限ったことではありません。地球規模で諸課題を解決していかなくてはなりません。国連が2015年に決めた「SDGs」、すなわち「持続可能な開発目標」が、今注目されています。いろいろな課題が全部で17項目あり、その中に、再生可能なエネルギーを拡大することや、気候変動の対策、植林など、環境問題に関する目標が含まれています。つまり、全世界が協力して達成し、2030年までに解決しようということで、本セミナーの「10年後の静岡」と重なります。パリ協定もそうですが、「もっと包括的に、地球全体いろいろなことで、皆さん協力して頑張っていきましょう」ということだと思います。

その視点に立ちますと、今日の我々のテーマである「持続可能な10年後の静岡にするために」ということと重なってきて、重大で本質的なテーマということが分かります。防災先進県、エネルギー活用先進県に、静岡は10年後、是非したいものですが、いろいろな課題があります。

課題について、まず皆さん全員が、AI、IoT、IT、ICTといった技術によって克服できるのではないかというお話がありました。楠城先生に伺いたいのですが、例えば、b値の法則など技術の進化をどう予測に活かすのでしょうか。また、湯瀬先生に伺いたいのですが、今日いろいろなICTのお話をされましたが、住民向けの防災情報、緊急地震速報を含めたものに、ICTはこれからさらに貢献するのではないかと我々は期待を持つ

ています。防災先進県になるために、ICTはどこまで活用できるのでしょうか。

楠城 地震のお話ですが、見えないものが見えてくるのが大きいと思います。今までは見えなかつた地殻変動の揺らぎやわずかな地震活動の変化が、良質なデータの蓄積やそのデータを解析するb値などの技術の進化によって、その揺らぎや変化が見えてきています。そういった部分でのAIやITという技術は、今、多く使われようとしています。

今回は、地震の観測データをどう見るかというお話をしたのですが、一方で、地震をモデル化する、特にコンピュータに基づくAIやITを使って、地震をシミュレーションで再現することも進んでいます。その意味では、防災県として、このような防災を意識した実学に近づく研究は、意味があると思います。

澤木 地震予知の困難な壁の中に、過去大きな地震というのは数回しか発生していないという事例の少なさですとか、現実の地震というのは動きが複雑だということや、あるいはデータの異常を見つけるのに、現状ではまだ観測網が整備されていないなど、いろいろ課題がありますが、こういった課題にも、AI、IOTで解決できる道筋は、見つけられるのでしょうか。

楠城 AI、IOTで課題を解決するのは重要であり、進みつつあると思いますが、まだ表だっては出てきていないと思います。

湯瀬先生が少しお話しされていましたが、AIを使って地震の現象を予測する、もしくは地震の現象を理解するというお話が、ロス・アラモス研究所で始まっています。そういう意味で、AIの応用は突破口として着実に進んできています。

湯瀬 AIの前提に、ディープラーニングという技術があります。今までは、ビッグデータがあっても、解析するのが大変でした。しかし、今はディープラーニングなどで学習させることによって、なぜそうなるのかの理屈が分からなくても答えが出るような技術が進んでいます。それにより、例えば、今までは地震観測の場合には地表のデータでしたが、楠城先生がお話しされた電離層のデータといった様々な現象、あるいは音を捉えて利用するなど、今までにないアプローチもできます。今度はデータが蓄積されると処理が大変になるのですが、そこはスーパーコンピュータのような性能がよいコンピュータが開発されることで解決されるはずですよ。今、使っている私のパソコンも、10年、20年前でしたら「スパコン」と言われる能力を持っていたかもしれません。このような形で技術やコンピュータの能力が向上すれば、今までできなかった部分で新たな知見が出て、応用できると思います。

一方で、その技術を使うのは人間ですので、人間の側のスキルも高めておきませんと、うまく活用できません。例えば、熊本地震のときに「デマが出た」というお話をしました。

ICTは便利で、いろいろな情報が入ってきますが、その情報に入っているデマを見破れるのでしょうか。日常生活では、変なお話を聞いても、「これ、おかしいな」「本当かな」と思ったら、知り合いに聞くなどの方法で確認します。そこで、インターネットの情報を鵜呑みにしないようなスキルも必要です。すなわち、機械に頼るだけでなく、人間のスキルを高めていく、その両面が必要だと思います。

澤木 ソフトの部分、情報の出し方という問題を先ほど指摘されたのですが、10年後になりますと、ハードの部分は進んでいるはずですよ。例えば、FacebookもLINEもYahoo!も、防災での情報伝達をさらに強化していくニュースがありました。総務省も、無線LANを全国の避難所全部に置きたいというお話をされました。つまり、国も民間も、情報伝達機能をさらに活用して情報提供していくということです。携帯端末は、10年後には、若者からお年寄りまで、全員が使いこなせる時代だと思います。湯瀬先生に、この辺りの将来を想像していただけますか。

湯瀬 生まれたときからスマホなどがあるという世代が育ってきます。その世代は、2001年に出版書籍で「デジタル・ネイティブ」と呼ばれました。例えば、はるか前の世代の人は、学校で電話の受け方を習っていましたが、若い人は、固定電話のかけ方や公衆電話の使い方も知らず、今は、話すよりも、スマートフォンのSNSで会話した方

がよくなっています。このように、コミュニケーションの形態が変わってきていると考えられます。

それから、コンピュータが話し相手になり、人間の支援をしてくれます。人間のいろいろな活動を手助けしてくれるところでも、おせっかいをやくコンピュータが出てきます。気がついたら、このようなコンピュータが当たり前になっているのが10年後だと思います。

澤木 防災情報、発災情報を、皆さんが等しく知れる時代になるということですね。後はソフトの部分だと思えます。

湯瀬 情報がすぐ入るような形になると思います。通信の問題も、低軌道衛星によるインターネット接続など、いろいろなものが出てきて、改善されると思います。

澤木 エネルギーの問題について伺いたいのですが、中井様のお話ですと、これからの我々のエネルギーについて、温暖化対策を含めて必要なことは、エネルギーの運用や機器の効率を高めること、再生可能なエネルギーの比率を高めること、この2点だと思います。静岡県内を含め、産官ともに、地産地消のモデルが多く出てきたように感じますが、地域内でこういったエネルギーを賄えるような社会にしていくとしたら、具体的にはどういったことがポイントになると思えますか。

中井 先ほどエネルギーの需要量がだんだん減少する時代になるとお話しましたが、そのような環境下で大型の投資は進めづらいいと思います。そこで、需要地近接型のエネルギーシステムが必要になります。静岡市の街なかに幾つかの小型発電機が設置され、それらがネットワークに組み込まれて地産地消で使われるという姿を思い描いております。

それを実現するための技術が、AIでありIoTだと思っています。静岡市内の清水区は雨ですが、駿河区は晴れているといった予測がされたり、分析が高度化されると、より発電側と消費側で効率性を高めることができ、結果としてBCP (Business Continuity Plan: 事業継続計画) の対応にもなってきます。したがって、将来は技術の進展にともない、地産地消モデルが普及すると思います。

澤木 その視点で、10年後、各家庭が太陽光を含めた自家発電能力を持つ時代も近いだろうというお話ですが、10年後を予想して、静岡県内どのような状況になっていますか。

中井 私は、燃料電池技術が10年後には広まっていると思います。今日は、トヨタの燃料電池自動車「ミライ」に乗ってこままで来ました。住宅だけではなく、自動車にもこの技術が応用されており、自動車が発電して住宅に電力を供給するような時代になるのではないのでしょうか。先ほどその次には、「HEMS (ヘムス): Home Energy Management System (家庭で使うエネルギーを節約するための管理システム)」とお伝えしましたが、家

の中で家電製品がネットワークを築くような時代になるのではと思います。

澤木 各ハウスメーカーが、スマートハウスを前面に打ち出すような時代になってきました。FCV (Fuel Cell Vehicle : 燃料電池自動車) に必要な「水素ステーション」を静岡ガスが静岡市内に作られました。これは、現時点は先行投資なのですが、水素を使った燃料電池自動車の車両数は現状では少ないのでしょうか。

中井 静岡市内では、今10台程度だと思えます。しかし、現在、トヨタ、ホンダ両社が生産をしていますが、これから急激に増えていくのではと期待しています。

澤木 たくさん車が走れば、その分コストも下がっていくということで、10年後は、ある一定の車種は形を変えていますか。

中井 国の発表によると、「ミライ」というのは比較的高価な車ですが、廉価版が数年後には発売される計画になっています。そうすると、このような「普及車」が5年以内には販売されます。

澤木 電気自動車も含めて、車や運転のあり方も、静岡県内で変わってきそうな気がします。これは温暖化防止にもつながってくるのではないかと思います。谷先生の生態系のお話を伺って、「二酸化炭素をさらに吸収して、緑を増やせばよい」と、単純に思いました。多様性がある複雑な生物の集合から成り立っている生態系を変えられるのかという考え方です。

が、10年後、20年後、AIを含むいろいろな技術の活用で、少しはコントロールできるような社会になるのでしょうか。

谷 森林は、寿命が50年から100年という長いスパンになっていますので、コントロールするのは容易ではありません。しかし、我々の分野でも、今までお話にありましたいろいろな情報技術を使って、森林をモニタリングしています。例えば、衛星で森林の状態をモニタリングして、光合成能力やいろいろなストレスを受けている状況、また、場合によっては二酸化炭素の吸収量も大まかに予測できます。それらをうまく使い、森林の状態を把握して、ストレスを受けている森林に対策を行うことも、将来的には可能になると思います。

今日のテーマの10年後という視点で見ますと、森林は、ゆっくりと成長し、私たちが目で見ていても分からない部分がありますので、この先どうなるか心配な点があります。気温の上昇も、100年で1度です。今日お話ししましたが、呼吸量が大きく上がってくるといいますが、10年先、気温が0.1度〜0.2度上がっている状況で、森林の二酸化炭素吸収量は、大きくは低下しないと思います。

一方で、例えば、大気汚染ガスのオゾン濃度が少しずつ増えるなど、大陸からの越境汚染などで、いろいろな複合環境が、植物の生態に、マイナスに働くこともあり、そういった意味で、10年後、今よりも森林が健全になっているとは、なかなか言いにくい部分があ

ります。

澤木 改めて自然は生き物だと思えます。私は、2016年、天竜川の海岸シンポジウムに参加させていただいたところ、天竜川河口の堆砂問題がありました。遠州灘海岸は浸食が激しくなり、中田島砂丘が消失する恐れがあります。一方で、堆砂の問題もあります。これらを、一つ解決しようとする、また別の問題が出てくるため、難しいという結論に至りましたが、全体を最適化するという考え方が、今、注目されていると思います。

谷 全体最適化については、例えば、森林をよい方向に管理していくという意味では、大気汚染や温暖化の問題があります。また、静岡で大きな問題は、シカの食害です。シカの食害によって森林やその下の植生が失われ、森が管理できなくなってきました。総合的に森林を管理するために、シカの数をコントロールしていくことになります。さらに、伊豆などでは、「シカを積極的に食べましょう」ということも言われており、私たちのライフスタイルに対する考え方を変えていく必要もあると思います。

澤木 最後に、10年後に、静岡県を防災先進県、あるいはエネルギー活用先進県にするためのポイントを、皆さんに伺います。

湯瀬 静岡は防災先進県だというお話をしました。今までは、国などから静岡県に比較的予算がついていましたが、今後は厳しい状況になります。一方で、ICTなどいろいろな

技術が普及すると、昔に比べるとコストがかからずできるという状況が生まれます。したがって、地震への備えや住民の自助・共助のところでは、ICTなどいろいろ使えるものを活用し、継続することによって、静岡県は防災先進県として、その影響を日本全国に与えていくことができると思います。そのために、このスーパーセミナーを含め、静岡県民の皆さんの啓発教育が重要と思います。

楠城 静岡の地震防災に関しては、地震が起こってからどうするかを検討することがまず一つなのですが、地震の起こる前に何ができるかを検討することも必要です。10年先、ICTやIoTなどが進歩すると思いますが、一方で、地震の性質である複雑さや不確実性というものもありますので、それをどうやって吸収していくかということです。そのためには、地震予測の現状の知識を習得し、科学技術を学習して、いかに防災へ活かすかを自分のこととして考えることが重要な基礎になると思います。

中井 10年後というと、人口の構成も変わりますが、キーワードは、澤木様がお話しされた「我慢しない省エネ」だと思います。「ヒートショック」という言葉があります。冬にお風呂場が寒いので、そこへ行つて調子が悪くなってしまうケースです。統計上、静岡県は、ヒートショックで亡くなる方の数が、全国で1位または2位でした。

この現象は、我慢して省エネした結果、高い代償を払ってしまったということかも

しれません。省エネ家電の普及なども含めて、新しくエネルギーのシステムにお金をかけることが大事だという意識の醸成をしたいと思います。我々エネルギーのプロは、「もっといいもの」を発信しなければなりませんし、その結果として、「我慢しない省エネ」が当たり前になればと思います。

谷 私は、エネルギーと農業という研究にも取り組んでおり、太陽電池の下で野菜を育てるためのソーラー・シェアリングの研究をしています。そういった中でエネルギーを考えたとき、これからはバッテリーの性能向上が重要になると思います。自動車のPV（photovoltaics：太陽光発電）も、今はまだ航続走行距離が短いのですが、バッテリーの性能が向上すると普通のガソリン車の給油1回分程度を走れるようになるでしょう。そうになると、さらに私たちの身近になると思います。10年後は、バッテリーが発達し、家庭でも、太陽電池で昼間つくった電気をバッテリーに充電して夜間使うという、ICTとバッテリーとを併用することでエネルギーの利用が進むと思います。

澤木 全体的な感想を含めて、総括を座長にお話させていただきます。

小林 私、今回7回シリーズの企画をさせていただきました。このエネルギー問題と震災、少し距離があるかと一見思われるテーマを同じ回に設定しました。しかし、ともに自然とどうつき合うかという点で共通性が高いです。エネルギー問題の重要なポイントが地球温

暖化です。地球温暖化は炭酸ガスが主たる原因と考えられていますので、大気の問題です。一方で、地震は地殻の問題です。つまり、地球の空気の部分と地殻の部分とどうつき合うかというテーマで括れます。

セミナー全体のテーマが、「10年後」をキーワードとして、「静岡」それから「創る」としています。この「創る」というのは、産業を意識した設定であり、今日の参加者は、個人として、例えば、震災にどう立ち向かうかという点にも御興味も高いと思いますが、全体としては、エネルギー問題および震災に対し、産業としてどう捉えていくかという観点も必要になります。

今日のお話で強調されなかった部分ですが、この静岡との関連性です。再生エネルギーを考えますと、静岡は日本で一番日照量の多い地域です。つまり、太陽光発電に向いています。それから、静岡県には、安倍川、大井川、天竜川があり、これらの河川での水力発電の経験があります。また、浜松の方に向かって新東名高速道路を走りますと、大きな風車が10台ほど見えます。風を使う発電も可能です。静岡は、特に浜松地域は風が強く、さらに、静岡県は海に面しており、波の力を使った発電も可能です。加えて、箱根や伊豆の方に行くと温泉があり、地熱発電も可能なはずで、このように、静岡県には、身近に数々の自然エネルギーがありますので、これらエネルギーの実用化を一層進めては

どうだろうかと考えます。

防災については、私、名古屋から異動し、静岡に住み始めて25年ほど経ちました。異動した当時、私の家族に小学生がいましたが、静岡に来て初めて「防災頭巾」を小学校で使っていることを知りました。また、静岡県立大学の建物が耐震構造であると聞いて安心しました。したがって、静岡県は、防災に対して取組が進んでいるため、そういった点で、新しい防災の提案も、日本に向けて、さらに世界に向けて発信できる下地があると思います。

また、再生エネルギーと防災を結びつけると、「ライフライン」と言われている電気の供給がストップした場合、例えば、ソーラーパネルが屋根の上であれば発電ができますし、自家用風力発電や、山岳地帯では小川の水を使った水力発電もできると思います。いわゆるエネルギーの地産地消をすれば、そういった防災時のライフライン停止に対し、一過的な生き残りに有利になるのではないかと考えます。

最後に、このスーパーセミナーは、静岡県、静岡市、静岡商工会議所を介して、産業界や地元の大手企業として、静岡ガスを初めとして、静岡鉄道、静岡銀行、鈴与などの御協力をいただき、また、マスコミとして、静岡新聞・SBSの御協力を得て、開催しています。今日の講師としてお願いした方々は、大学関係者と、産業界代表の静岡ガスです。地

方自治体の場合は、行政としてどう取り組むかという話題も検討しましたが、時間の関係もあり省略させていただきました。お伝えしたいのは、このネットワークです。地方自治体、産業界、そして大学も加わったネットワークを私たちは作っています。これを活用して、将来に向けたエネルギー問題や防災に対して、ここから、新たなあるいは現実的な取組が提案できるのではないかと考えます。今日はその第一歩として、皆さんとの有用な意見交換の機会になったものと思います。

質疑応答

質問者 A 楠城先生に伺います。中越地域で起きた地震、鳥取県を震源とした地震、あるいは熊本地震は予測できませんでしたが、活断層型の地震の予測はしていないのでしょうか。

楠城 活断層の評価も私のお話で示した地図には入っています。しかし、南海トラフ地震などに比べると、活断層は小さい、地震の発生間隔が長い、誤差が大きいなどのため、目立たない状況です。活断層ごとの地震動予測評価は世の中にあり (<http://www.jishin.go.jp/evaluation/>)、活断層の周辺では地震動予測の確率は高いです。このように、評価はしっかりされていると御理解いただきたいと思います。

質問者 A 湯瀬先生に伺います。地震に関して、地下の動きあるいは微震動のデータを用いた予測などがあれば教えていただけますか。

湯瀬 地震の観測点の数は、まだ十分ではありません。例えば、静岡県の東海地震を捉えるための観測網の中で、駿河湾の真ん中にはリアルタイムに地震を観測する設備がありません。したがって、駿河湾で地震が起きた場合、その様子を周りの陸上の観測点で捉える

ことになります。気象の場合は、シミュレーションに実際の観測値を入れますが、地震の場合は、データが少ないと、推定値を入れなければなりません。観測地点を増やすことに加えて、自己浮上型海底地震計のように何か月後にデータを取り出すのではなく、オンラインでリアルタイムにデータを収集することが、予測の精度を上げるためには必要だと考えます。地下の構造まで捉えるのは難しいですが、ガス分析を含む新技術を取り入れ、観測点を増やすことにより、予測の精度を上げることができます。

質問者 B 石橋克彦先生が、東海地震を発表したのが昭和51年です。それから40年を超えています。静岡県では、防災あるいは減災をどのよう進めるか考えなくてはなりません。熊本地震の教訓として、全国から各種支援物資が集まり、講堂を含め、広い場所に集めたと聞いています。そうすると、支援物資の保管場所や管理について、準備が望まれます。一方、一般の住宅は、昭和57年の建築基準法改正に加え、昭和59年から全国に先駆けて独自に地震動の想定値を2割大きくしました。一方、津波対策は、遠州灘の方に13メートルの防潮堤を作っていると聞いています。しかし、想定される津波が17.5メートルであれば、効果は低いです。静岡地域でも同様の対応は必要であり、必要な行政の予算化を希望するため、その方向付けとなる有識者の声を期待します。

澤木 有事の防災として、いろいろな日用品などの支援物資をどこに集めるかは、課題です。第3回のスーパードミネーターでは、高速道路のスマートインターの近くの工場倉庫やサービースエアが、防災の拠点の一つになるというお話が紹介されました。今日の講師の皆さんは有識者として、それを社会に発信していただきたいと思っています。

この分野は、10年後というのは一つの目安として、進展する部分と、課題解決が見つからない部分があると思います。いずれにしても、私たちは、住民、民間企業、研究者など、一体となつて取り組んでいかなければなりません。技術面に加え、例えば、日照時間が長いというような自然環境においても、他県よりも優れた条件の分野もあります。これらを最大限活かすべく、企業にはさらに投資をしていただきたいと考えます。今日の講師のうち研究者の方々は、この分野に慎重な発言が求められますが、積極的に住民に発信をしていたらいいと考えます。「SDGs（持続可能な開発目標）」が、静岡から、提案・発信されていく状況になればよいことだと思います。

書面にて寄せられた質問とその回答

質問 1 ICTが進化してコンピュータの性能が向上し、人工知能が発達しても、気象予報士の資格は存続していくと考えられますか。人工知能によって精度の良い予報が行える時代が来るのではないのでしょうか。

谷 社会において人工知能がどの程度普及するかは予測の域をできませんが、あくまで様々な場で人を補完する形で使用される将来を想定してお話をします。

現在の天気予報は、気象庁が収集した膨大なデータを基にしたコンピュータで計算された予報値に基づいて行われています。加えて、民間の予報会社は、独自データも用いた計算結果に基づき、局地的な予報（例えば高速道路周辺の予報）などを行っています。予報値はすでにコンピュータで計算されて出てきていますので、計算方法が従来型か人工知能かで異なっても、利用する側には違いはありません。また、注意する災害などもすでに計算結果に基づき予報されています。予報値の算出方法が人工知能に取って代わる場合、台風の進路や週間天気予報の正確性など精度が向上する効果が期待されます。しかし、その結果を見て、気象災害の危険性を中心に社会へ伝えるには、人を介する場合は今後も減らないと思われます。例えば、テレビやラジオの天気予報や市町村による避難勧告、避難指示

などです。その場合、気象学や天気予報の知識を持った人（気象予報士）が、自分の言葉で特に注意喚起したいことを強調するなどして、伝えることとなります。知識のない人が、自分の判断で災害に関する過小なあるいは的外れな注意情報を説明し、結果として大きな人的および物的損害を招くようなことは避けねばならないのです。つまり、気象予報士はインタプリター（気象解説者）として、予報値を一般市民へわかりやすく伝え、質問に答え、災害への対策や避難準備を喚起する役割を、引き続き求められることになると思います。

質問2 現状では燃料電池自動車は高価であり、将来は現在の自動車のように多くの人が購入できる価格になるのでしょうか。需要が増えれば下がるはずですが、価格が下がらなければ需要が増えないのでしょうか。また、燃料電池車の普及はエネルギー革命のようなものになるかと思いますが、石油の消費減少によって、ガソリンスタンドなど、石油関係企業は経営が維持できるのでしょうか。

中井 燃料電池自動車は、現在、ドイツ、アメリカそして韓国など日本のみならず海外メーカーも競って市販化を目指しております（既に韓国製は市販化）。したがって、トレンドとして自動車の電動化が進む中、一定の割合は燃料電池が占めるものと思われれます。次に、水素スタンドの普及に関しては、現在日本では100か所弱にとどまっています。しかし、

これも規制改革などにより建設コストが低減されており、徐々に都市圏を中心に増加すると思われます。

燃料電池自動車は、自動車の機能だけにとどまらず、住宅への電力供給などの蓄電、給電機能を活用することにより、防災にも役立たせることが可能です。したがって、自動車としての価値プラスアルファを広報したいと思っています。

石油会社もガソリン需要が減少する中、石油化学産業や素材、さらには電力事業などの事業転換を目指しています。さらに、東南アジアを中心にガソリン需要は増加しますので、すぐに影響があるとは考えてはいません。

質問3 確率論的地震動予測地図では、南海トラフ、駿河トラフなどでの海溝型地震の予測に照準を当てていて、中越、鳥取、熊本地震などの活断層型地震の予測に照準を当てていないように思えますので、教えてください。

楠城 確率論的地震動予測地図では、海溝型地震と活断層型地震の両方に照準を当てています。御質問にあるように見えるのは、活断層型地震に対して海溝型地震の発生確率が高いこと、また、海溝型地震で激しく揺れると予測される地域が広いことからきており、よく見る確率論的地震動予測地図は、両方の地震を混ぜた全地震に基づくものだからです。

ちなみに、「活断層など陸域と海域の浅い地震」というカテゴリーの確率論的地震動予測地図もあります。発生確率の高低にかかわらず、もし海溝型地震や活断層型地震が起きれば、激しい揺れになる可能性がありますので、日頃から地震への備えを心がけてください。

質問4 気象ビッグデータ処理により、雲の動き予測が可能になってきているので、地震もビッグデータ解析により、地下の地殻の動き変数を条件として予測の精度を向上させられると思いますが、進展状況を教えてください。

楠城 地震分野でも同様な研究の流れはあります。今回のスーパーセミナーで御紹介した研究もその一部です。日本における地震と地殻変動の基盤観測網が整備されてから約15年が経過し、やっと、ビッグデータ解析に耐えうる、良質なデータが日々大量に蓄積されるようになりました。また、そのデータを解析するスーパーコンピュータ「京」を活用した研究例も出てきており、今後、この研究の流れが加速すれば、地震発生予測の精度の向上が期待されます。

質問5 南海トラフ地震はいつおきてもおかしくない、また、発生確率は30年以内に70%程度と言われている。予測があと10年以内に対して出来ますか。

楠城 地震調査研究推進本部の地震調査委員会から、今後10年以内の発生確率は20%程度と公表されています。