

名古屋大学土木系教室 60 周年記念

オンライン・シンポジウム

変革期の今考える、中部の未来像

～社会インフラの視点から～



2021 年 11 月 13 日 (土)

## はじめに

名古屋大学土木系教室は1961年4月1日の工学部土木工学科の設立から数え、2021年4月1日で創立60周年を迎えました。この名大土木教室60周年にあたり2021年11月13日（土）に「変革の今考える、中部の未来像 ～社会インフラの視点から～」というテーマで60周年記念オンライン・シンポジウムを開催しました。本報告書はこのオンライン・シンポジウムでの講演、質疑、総合討議の内容を記録として残すものです。

シンポジウムでは、自然災害の激甚化、社会構造の変化、SDGsに代表される地球規模課題、情報・通信分野に代表される技術革新など、まさに変革の時代の只中にある今、中部が向かうべき未来像や中部が果たすべき役割について社会インフラの視点から話題提供、討議を行いました。感染症拡大防止の観点からシンポジウムはオンラインで開催しましたが、当日は114名（登録数）の方にご参加いただきました。本報告書をまとめるにあたり改めて内容を振り返ると、変革の先にある今後のより良い社会像の実現に向けて名古屋大学土木系教室が取り組まなくてはいけない課題は待ったなしであり、責任を痛感するとともに教室の総力を挙げて取り組んでいく必要があると感じております。また本報告書を読まれる方にとって、本書が今後のインフラ整備のあり方や中部の未来像を考えていくための一助となれば幸いです。

これまで名古屋大学土木系教室の発展にご尽力、ご支援いただいた皆様にご場を借りて御礼を申し上げますとともに、今後もご支援を賜りますようお願いいたします。

令和4年7月

令和3年度 名古屋大学土木系教室主任  
戸田 祐嗣

## 目次

趣旨説明		1
第1部 自然災害の脅威 ～安全・安心な地域づくり～		3
南海トラフ地震に対する防災・減災に向けた取り組み	野田 利弘	4
高潮・高波の脅威と備え	富田 孝史	12
洪水氾濫の脅威と備え	田代 喬	18
第2部 社会構造の変化、多様な価値観 ～持続可能で快適な暮らし～		27
既存インフラの長期活用に向けて	中村 光	28
QOL向上とSDGs達成を両立できる地域のかたち	加藤 博和	36
自然環境共生型社会づくり	林 希一郎	45
第3部 未来に向けた活力ある中部へ		52
カーボンニュートラルの実現に向けて：中部からの発信	日比野 高士	53
脱炭素かつ持続可能なストック型社会へ向けた土木の役割	谷川 寛樹	58
先進モビリティ地域中部に向けて	森川 高行	64
総合討議 「中部発：新たな地域・国土のデザインと中部の役割」		77



その6つの課題の背景には、もともと土木が持っている使命として、図に示す「安全・安心な国土」、「持続可能で快適な生活を支える基盤づくり」、「未来に向けた活力と想像力」があり、この三つの使命を果たすべく、われわれ土木教室は様々な課題に取り組んでいます。この三つの使命を意識したうえで、変革の時代にどう対峙するか、ということで本シンポジウムの内容を企画しました。

こちらが本日のプログラムになっています。第1部は「安全・安心な地域づくり」という観点から、南海トラフ地震、高潮・高波、洪水の三つの視点で話題提供します。第2部では「持続可能で快適な暮らし」という観点から、インフラの長期活用、QOL向上とSDGs達成、自然環境共生型社会といった観点で話題提供します。第3部は「未来に向けた活力ある中部へ」ということで、カーボンニュートラル、脱炭素かつ持続可能なストック型社会、先進モビリティ地区としての中部といった観点で話題提供します。

プログラム	
13:10~14:10 第1部 自然災害の脅威～安全・安心な地域づくり～	
「南海・トラフ地震に備える防災・防災に備けた取り組み」	野上 利隆
「高潮・高波の脅威と対策」	松平 晋也
「治水政策の発展と備え」	日村 隆
<休憩>	
14:20~15:20 第2部 社会構造の変化、多様な価値観～持続可能で快適な暮らし～	
「緑のインフラの長岡陸軍に代わって」	中村 亮
「QOL向上とSDGs達成を両立できる地域のかたち」	加藤 信也
「自然環境共生型社会づくり」	松本 隆
<休憩>	
15:20~16:20 第3部 未来に向けた活力ある中部へ	
「カーボンニュートラルの実現に向けて：中部からの役割」	上野 昌士
「脱炭素かつ持続可能なストック型社会への土木の役割」	佐藤 廣成
「先進モビリティ地区の中部において」	藤川 高行
<休憩>	
16:30~17:20 総合討議 「中部発：新たな地域・国土のデザインと中部の役割」	

話題提供の後に総合討議として「中部発：新たな地域・国土のデザインと中部の役割」というテーマで議論します。以上が本日のシンポジウムの開催趣旨とプログラムの概要となります。

## 第1部

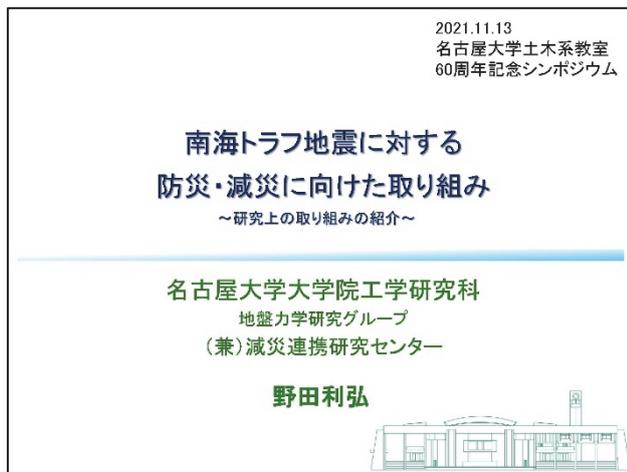
### 自然災害の脅威

～安全・安心な地域づくり～

南海トラフ地震に対する防災・減災に向けた取り組み

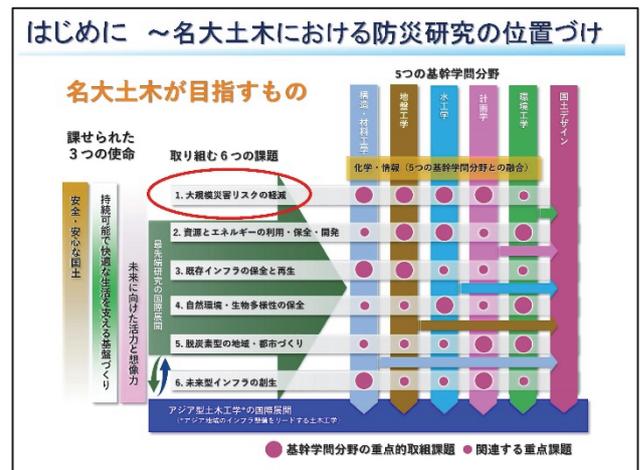
話題提供者：野田利弘

それでは、地盤力学研究グループの野田から、このタイトル（南海トラフ地震に対する防災・減災に向けた取り組み）でお話しさせていただきたいと思います。



参考になるかもしれませんが、キーワードを示させていただきます。

まず、先ほど戸田先生からお話がありましたように、防災分野は六つの系が重要視しているもので、特に基幹的学問分野の重点的取組課題となっています。この丸で示した部分ですが、各系がどんなことをやってきたかということも、後ほど少しお話しさせていただきます。

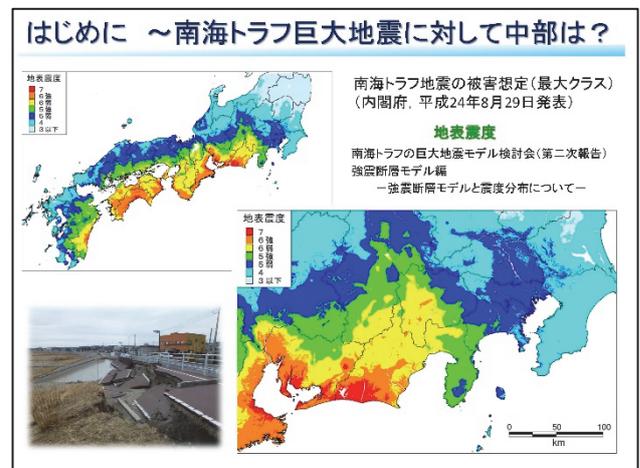


本日の内容

1. はじめに
  - 名大土木における防災研究の位置づけ
  - 南海トラフ地震に対して中部は？
  - 名大土木の研究的取り組み例の紹介
2. 研究紹介
  - 津波災害に備えて
  - 軟弱地盤上の河川堤防の耐震性評価
3. おわりに

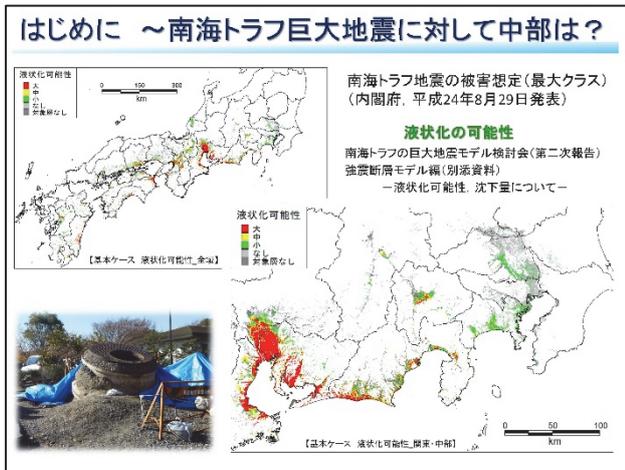
本日は3構成でお話ししたいと思います。まず、防災研究の位置づけ、南海トラフ地震に対し中部はどうか、名大土木の研究的取り組みの紹介ということで、キーワード的になりますが、ご紹介させていただきます。そして、この中からトピックとして二つ、津波災害に備えて、軟弱地盤上の河川堤防の耐震性評価について研究紹介をさせていただきたいと思います。最後に、「おわりに」ではもしかしたら後のパネルディスカッションの

南海トラフ巨大地震について中部地域はどうなっているのかということですが、平成24年8月に内閣府から想定されている揺れを示しています。これを見ていただいたら分かるように、西日本全域が大きな揺れに見舞われるのですが、特に東海地域、中部地域は震度7といった大きな揺れに見舞われることが分かります。

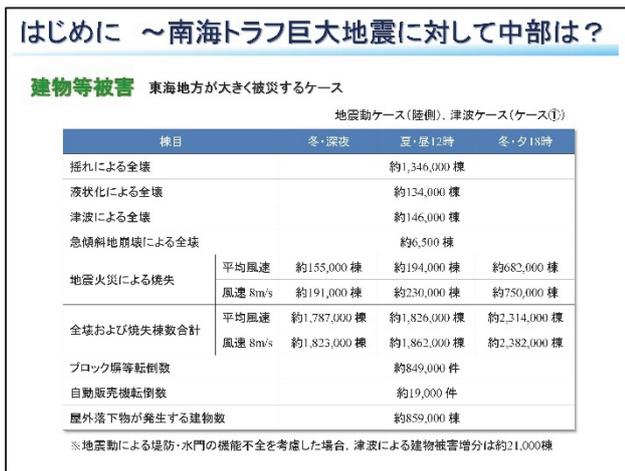


私は地盤系ですので液状化についても見てみる

と、このような形で愛知県県の西側は大きく液状化の被害を受けることが想定されています。



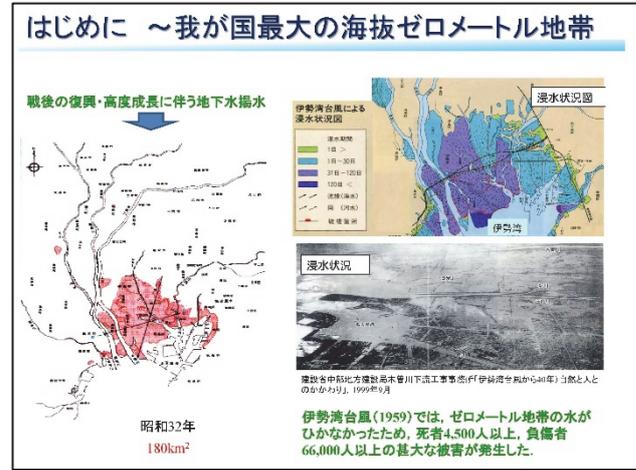
また、どのような被害が想定されているのか、ですが、揺れ、液状化、津波、その他いろいろな被害に見舞われることが想定されています。揺れにおいては、このように 134 万棟の住宅が全壊になる。あるいは液状化や津波は、その約 10 分の 1 の全壊することが想定されています。これを見ていただいて、喫緊の大きな課題であることが分かるかと思えます。



愛知県を含む東海 4 県について見てみると、愛知県は揺れで 24 万 3000 棟が全壊してしまう、液状化によっても約 10 分の 1 の被害が出ると想定されています。

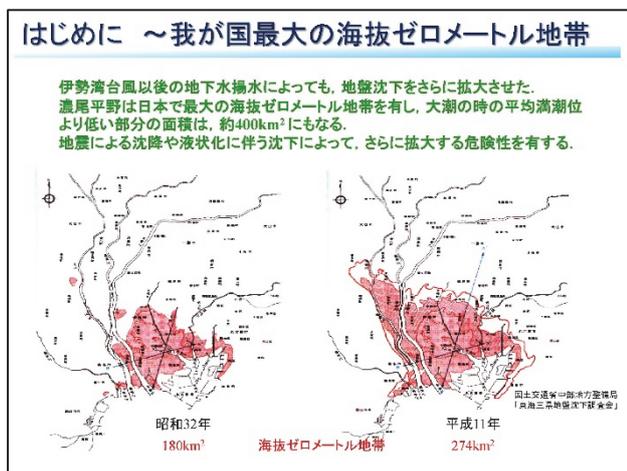
土木教室は伊勢湾台風を契機につくられ 60 年

が経過しましたが、その伊勢湾台風はどうだったのか。これについては、伊勢湾台風の前に既に高度成長・戦後の復興による地下水くみ上げによって、この地域が地盤沈下によって海拔ゼロメートル地帯が広がっていたところに、伊勢湾台風がやってきて、そして全然水が引かなかったために、死者 4500 人以上、負傷者 6 万 6000 人以上の甚大な被害が発生したということです。これを機に土木教室が立ち上がったわけですから、今後ここをしっかりと考えていくことは大事だと思います。



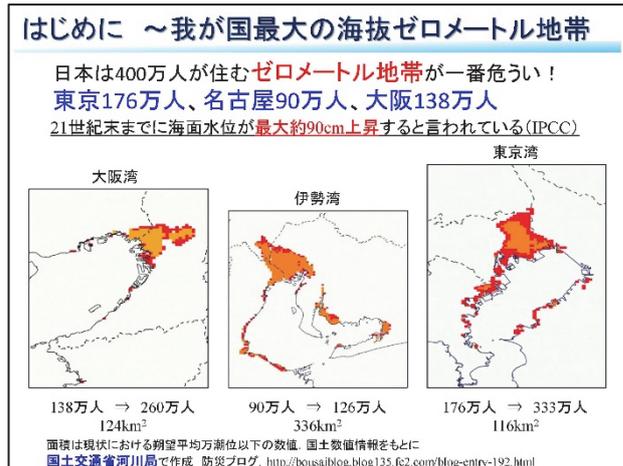
その後、地下水の汲み上げ規制が始まるまで沈下が続く、今ではほぼ取まっていますが、274km<sup>2</sup> の広大なゼロメートル地帯が広がっている地域です。また、赤線で囲まれた領域を見ていただくと、大潮のときには約 400km<sup>2</sup> という海拔ゼロメートル地帯になることが分かります。ちなみに、当時この地下水の汲み上げが問題であり、

地下水揚水規制の必要性を大きく訴えて、そして実際に地盤沈下が止まったのですが、これに対して植下先生をはじめとする名大土木のグループが大きく貢献されたことをご存じの方も多いかと思います。



また、地球温暖化による海面上昇によって、最大で90cm上昇することがIPCCの報告にあります。これによって伊勢湾だけを見ると、90万人の住民が海拔ゼロメートル地帯に住んでいますが、126万人に広がるという推計もあり、非常に水のリスクも多いところだということを十分認識する必要があります。

加えて、中部圏には多くの主要製造業や大企業が立地し、名古屋港自身が中部圏の生産・物流の中心であるため、関係する多くの事業者がこの地域で生活を営んでいることも考慮しなければいけません。



以上のような背景がございますが、名大土木の研究的取り組みについて教員にヒアリングする、あるいは60周年記念誌の中からキーワード的なものを拾ってきて、ここでまとめてみました。各系がこれまでにしてきたあるいはこれからする研究的な内容をここに挙げています。このスライドにありますように、構造・材料の分野ではコンクリート構造物やPHC杭の耐震性能評価、これに伴う解析技術等の開発があります。併せて補修・補強材料の開発、その適用などを挙げる事ができます。また、コンクリート部材の新たな開発、そして簡易な耐震補強法の開発、既設構造物の維持管理といった視点で研究がなされてきています。

地盤系については、液状化などによる地盤・斜面の被災メカニズムの解明、人工地盤を含む港湾施設、電力・ガス施設などのインフラ・ライフラインの耐震性評価や対策工法の開発、災害発生土砂から得られる木片混合分別土に対する物性評価あるいは不燃系混合物の挙動の解明に加え、豪雨と地震による複合災害の視点から研究を進めています。

## 名大土木の研究的取り組み例の紹介

(これまで): 現教員について約十年程度

### 【構造・材料】

(これまで) **コンクリート構造物/PHC杭の耐震性能評価**(解析手法の開発、被災構造物の損傷原因の解明、鉄筋の座屈モデルの開発、座屈鉄筋の低サイクル疲労破断評価式の算定など)、**補修・補強材料の開発**とその適用、など

(これから) **新たな軸方向鉄筋座屈防止法による耐震性能の高いコンクリート部材の開発**、**既設構造物の簡易な耐震補強法の開発**、**既設構造物の維持管理**、など

### 【地盤】

(これまで) **地盤解析手法の開発**、**液状化などによる地盤・斜面の被災メカニズムの解明**、**人工地盤**(埋立地盤、造成宅地、人工島)、**港湾**(高潮防波堤)・**河川堤防**、**ダム**、**鉄道・道路**、**電力・ガス施設**など**インフラ・ライフラインの耐震性評価**や**対策工法の開発・提案**、**土砂系災害廃棄物の分別土(木片混合分別土)の物性把握**・**力学挙動の記述**、**津波浸水評価に資する堤防沈下の算定**、など

(これから) **濃尾平野の(表層地盤被害の評価に資する)立体的地盤構造モデル化と耐震性評価**、**豪雨と地震による複合災害の評価**、**土砂系災害廃棄物の分別土(不燃系混合物)の物性把握**・**力学挙動の記述**、など

また、水の分野、特に津波については、津波による被災実態・被災メカニズムの解明、津波被害を再現する数値計算モデルの開発、津波漂流物の挙動と衝突力の評価、津波火災延焼リスク、海上輸送のために航路啓開に必要な資源量の推定、津波特性の把握などの研究がなされています。これからも粘り強い海岸構造物の開発、津波災害等リスクと社会インフラの重要度に関する指標の開発を目指しています。

環境分野については、災害廃棄物の推計のために一般化する手法を考えるとともに、災害廃棄物処理のモデル化、水道管の離散的被害推定手法、災害時応急給水リスクの検討、工業用水域の経済機会損失の算出、これに加え災害環境マネジメント研究分野の体系化といった視点で研究がなされています。

## 名大土木の研究的取り組み例の紹介

### 【水】

(これまで) **現地調査に基づいた津波による被災実態・被災メカニズムの解明**、**津波被害を再現する数値計算モデルの開発**、**津波漂流物の挙動と衝突力の評価**、**津波火災延焼リスクを推定するモデルの開発**、**津波災害後の緊急物資等の海上輸送のために航路啓開に必要な資源量の推定**、**数値計算による伊勢湾・三河湾における津波特性把握**、など

(これから) **粘り強い海岸構造物の開発**、**津波災害等リスクと社会インフラの重要度に関する指標開発**、など

### 【環境】

(これまで) **都市の物質代謝研究において災害との関わり**の調査・研究(**災害廃棄物の推計のための一般化**)、**災害廃棄物処理(収集・運搬)のモデル化**、**確率的手法に基づく水道管の離散的被害推定手法の構築**、**災害時応急給水リスク管理の検討**、**工業用水域の経済機会損失の算出**など

(これから) **気候変動による災害と建設関係の適応策**、**災害環境マネジメント研究分野の体系化**、など

最後に、計画/国土デザインから見ると、地区防災の実践に加え、国土の将来ビジョン、発災直後～復興期に至る各地域の住民の QOL (生活の質) の変化・回復の推計に基づく事前対応策や発災時の公共交通機関の役割や対応策、持続可能な地域づくりなどが検討されています。

## 名大土木の研究的取り組み例の紹介

### 【計画/国土デザイン】

(これまで) 中部地域における**地区防災の実践**、**南海トラフ地震等の大災害を踏まえた国土の将来ビジョンの検討**、**発災直後～復興期に至る各地域の住民の QOL(生活の質)の変化・回復の推計に基づく事前対応策の検討**、**発災時の公共交通機関の役割や対応策の検討**、など

(これから) 地区防災を通じた**持続可能な地域づくり**、**大災害への事前復興計画・将来ビジョン**、**小地区単位での被害予測結果を用いた QOL や被害回避コストを推計による事前対応策や発災後の回復途上での対応策検討**、など

※ 教員への直接ヒアリングや60周年記念誌に基づく

羅列的な紹介になって大変恐縮ですが、名大土木系ではここで述べたような幅広い研究がなされています。この中から、今日は時間があまりございませんので、「津波被害に備えて」という内容で、富田先生の研究から少しご紹介させていただきたいと思います。

研究紹介

### Topic 1:

## 津波災害に備えて

富田教授の研究から



二つ大きな視点がございますが、一つ目の大きな視点としては災害の予測・推定で、津波の不確定性と津波火災のリスクの推定に関するものです。

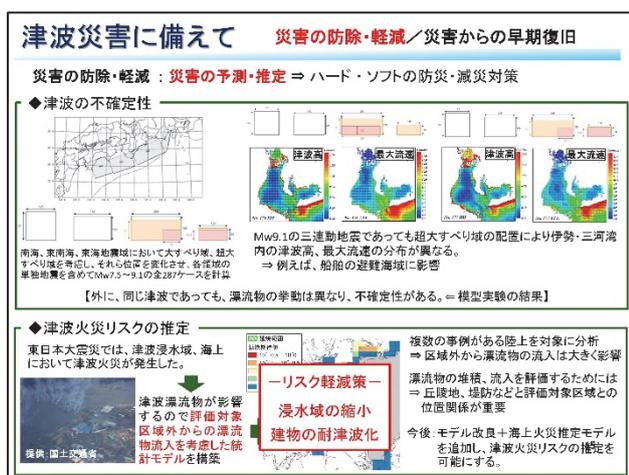
東日本大震災の反省を踏まえ、現在大すべり域、超大すべり域を考慮して津波の位置の推定がされていますが、伊勢湾、三河湾において287ケースのパラメトリックスタディがされました。上の図がその結果で、それぞれのすべり域、超大すべり域のものですが、設定によって津波高に加え最大流速もこのように変わることが分かり、これが船舶の避難海域に影響すると考察しました。また、模型実験の結果から、同じ津波でも漂流物の挙動が異なって、不確実性があることも分かっています。

次に、下の図の津波火災リスクの推定ですが、東日本大震災では津波浸水域、海上において津波火災が発生しました。これまでの津波火災の推定では火災評価対象区域外からの漂流物流入が考慮されていなかったことを踏まえ、これを考慮できるモデルを構築して、複数の事例がある陸上を対象に分析した結果、やはり区域外からの漂流物の流入が非常に大きく影響することが分かってきました。つまり、この流入を避ける、そのリスクを軽減するためには浸水域を縮小する、建物の耐津波化を図ることが大事だと分かってきました。

また、漂流物の堆積や流入に非常に関係のある丘陵地、河川堤防などと評価対象区域との位置関係が重要だということも分かっています。

う視点で、その視点からの研究を紹介させていただきます。これは海路によるオイル等の緊急物資輸送に着目した研究ですが、関係者にヒアリングを実施して海上輸送に必要な資源分析をしたものです。その結果、関係者の人命保護、電気、通信は当然重要な項目ですが、これらに加え岸壁も重要であると。岸壁はこの評価において壊れないという前提として、重要な航路啓開が速やかに行えるかが重要であることが分かりました。

また、この研究では、まず航路啓開に必要な資源量を伊勢湾と三河湾の5港に対し検討したわけですが、地震や津波で発生するがれき、漂流船舶・コンテナなどの数を推計するとともに、港湾区域内のがれき等を回収するのに必要な船舶数を推計しました。つまり、伊勢・三河湾の重要港湾以上の5港に対し、各港湾で1航路を地震発生から3日以内に開けるためには、どのぐらいの作業船が必要かを検討しました。先に述べましたように、津波の不確実性や漂流物の不確実性があるので、ここでは二つの場合について検討がされました。一つはがれきが港湾区域に平均的に分布する場合、もう一つはがれきが航路に集中的に分布する場合です。この右下の図に示しますように、非常にいろいろなケースがあり得ること、緊急的に航路を啓開することが難しいことなどが分かってきました。これを回避するためには、ふ頭などからの漂流物の海域流出を制御する、あるいは建物の耐津波化が必要だということになります。以上が津波に関するより具体的研究事例紹介になります。



もう一つの大きな視点は、予測あるいは防災・減災という視点に加え、災害からの早期復旧とい

### 津波災害に備えて 災害の防除・軽減／災害からの早期復旧

レベル1津波を超える津波 ⇒ 浸水発生 ⇒ 速やかな救援や復旧が可能なのが重要

海路によるオイル等の緊急物資輸送に着目

- ⇒ 海上輸送に必要な資源分析
  - ⇒ 関係者の人命保護、電気、通信は基本、耐震強化岸壁の使用を前提として、航路啓開を速やかに進めることが重要。
- ⇒ 航路啓開に必要な資源量(作業船数)の推計(伊勢・三河湾の5港)
  - ⇒ 地震、津波で発生するがれき、漂流船舶・コンテナなどの数を推計
  - ⇒ 港湾区域内のがれき等を回収するのに必要な作業船数を推計
  - ⇒ 港湾区域内のがれき(←不確定な漂流物)

影響が多岐にわたる資源

資源	A津	B津	C津	D津	E津	合計
ガレキ	3.6	0.4	3.3	0.4	0.1	11
漂流船舶	20.6	0	0.4	0.1*	0	3
コンテナ	2.6	3.1	1.9	3.0	26.8	37
小形船舶	26.8	3.6	3.7	57		

※港湾に1級路を地位発生から3日以内  
がれきが港湾区域に平均的に分布(自動車等は航路)

人員以外に持込み

—リスク軽減策—  
ふ頭等からの漂流物の海域流出の制御  
建物の耐津波化

資源	A津	B津	C津	E津	合計
コンテナ	1.0	0.4	0.1*	0	3
乗用自動車	0	20.6	0	1.6	23
小型船舶	19.4	0.5	2.6	3.1	30
合計	228.3	6.3	46.3	6.1	304

地震と津波で発生するがれきの分布

浸水域

港湾区域に流入する可能性のあるがれき

### ゼロメートル地帯の河川堤防の地震応答解析

中小河川流域の河口付近は海拔ゼロメートル地帯の住宅密集地。南海トラフ地震の発生時には、最大2.9mの津波が予想されている。

軟弱粘土層が厚い

パラベットの嵩上げで対応

伊勢湾台風あとの築堤後50年の圧密で、下流域では堤防はすでに60cm沈下している。

川の周辺には住宅街が存在

私からは地盤ということで、河川堤防の事例をご紹介させていただきたいと思います。

これは海拔ゼロメートル地帯にある河川堤防の耐震性評価をしたもので、河口付近に海拔ゼロメートル地帯の住宅密集地があります。南海トラフ地震の発生時には、この地域に約2時間後に最大2.9mの津波が来るという想定がなされています。ここでは伊勢湾台風の後に堤防が造られていますが、60cm沈下しているためにパラベットで嵩上げしています。

3・11 前の南海トラフの想定地震を用いて解析しました。ここでは非常に軟らかい粘土層が厚く堆積しています。その上に砂層があり、この上に堤防が造られています。ここには止水矢板が打られているわけですが、ここに想定された地震が来たらどうなるか調べたものを動画でお見せしたいと思います。

研究紹介

## Topic 2:

### 軟弱地盤上の河川堤防の耐震性評価

### 河川堤防の耐震性評価 - 大地震時、堤防は？

3.11前の南海トラフ想定地震

中央防災会議(平成16年)の東海・東南海・南海の三連動地震波を震川の式を用いて増幅させて入力

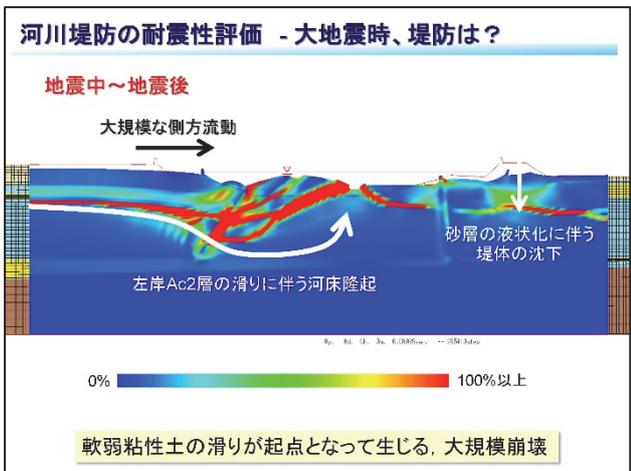
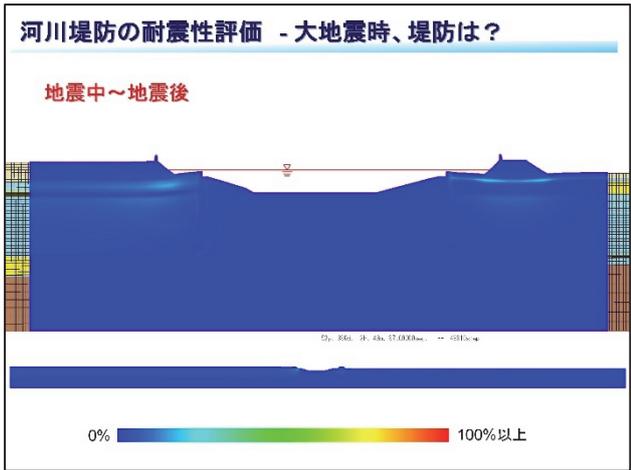
鋼管矢板

鋼管矢板

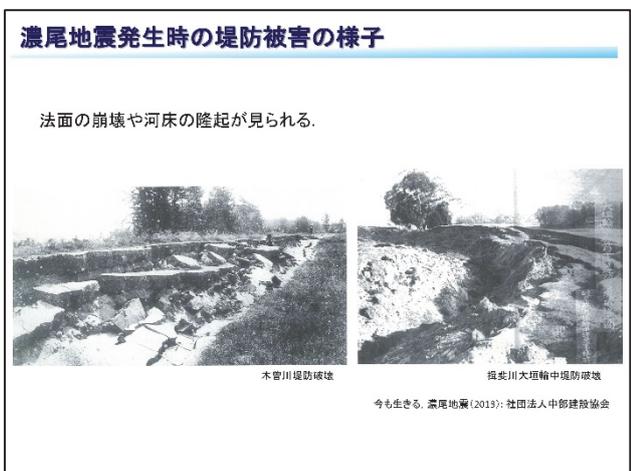
1000m

N値0〜3程度の軟弱な沖積粘土層が20m程度堆積している。

これはせん断ひずみで、堤防付近を示しています。このように矢板を川に向かって大きく押し出す形で地盤がすべり、液状化に伴う沈下や河床隆起が生じた後に津波が襲ってくるわけですから、津波は事実上高くなってしまいう可能性があることが数値解析の結果、分かってきました。



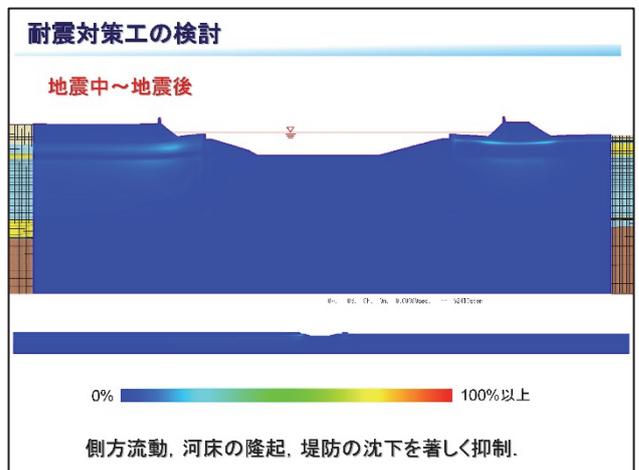
こういう現象が本当に生じ得るのかを調べてみると、木曽川の堤防や揖斐川の輪中堤防では、濃尾地震のとき同様なことが生じていそうなので、あながち間違いではないことを、行政側の人とお話しさせていただきました。



この結果を踏まえ、対策工法を検討した結果です。対策によってはこの動画のように大きなすべりは発生せず、川の面積を確保できる形で耐震化できることが分かりましたので、これを行政側にお伝えしたところ、このような形で堤防の対策をしていただきました。土堤に異物である矢板を入れないという「原則」があるのですが、これは、それを乗り越えて行政側が国と折衝し構築された例です。

### 耐震対策工の検討

Case1	既存の鋼管矢板を延長した場合	×	
Case2	鋼管矢板を盛土法尻に増設した場合	×	
Case3	鋼管矢板を増設し、堤体を地盤改良した場合	◎	
Case4	堤防前面の沖積層を途中まで地盤改良した場合	○	
Case5	堤防前面の沖積層を全て地盤改良した場合	○	





最後に、社会インフラを念頭にいくつかの視点があると思います。大規模・広域災害であること、未経験かつ不可逆事象があることなど列挙させていただきましたが、可能であれば、これを後ほど議論できればと思っています。

### おわりに 社会インフラを念頭に（視点）

- ・大規模・広域災害、未経験&不可逆事象
- ・事前／事中／事後の対応
- ・海拔ゼロメートル地帯（濃尾平野：90万人、東京176万人、大阪138万人）
- ・複合災害（震害＋水害）、地球温暖化、海面上昇、災害の極端化
- ・不確実性（外力等）、性能設計、ハード/ソフトのバランス
- ・人口減少・少子高齢化、財政問題、経済低成長
- ・数値解析（予測技術など）の重要性、研究の実装
- ・インフラの長寿命化とメンテナンス
- ・国土計画、地域づくり、復旧・復興
- ・臨時情報
- ・連携（減災連携研究C、学内、専攻内、地域、産、官、民）
- ・学生教育（人材育成）、国際
- ...

この写真は次の次にお話しされる田代先生から頂いたものですが、こういった木曾三川が見えるこの地域は、地震の被害を大きく受けるところなので、いろいろな対策は必要だと思います。

## 高潮・高波の脅威と備え

話題提供者：富田孝史

国土デザイン系の富田です。今ご紹介がありましたように、高潮・高波の脅威と備えについて話題提供させていただきます。

どこからお話を始めようかといろいろ考えたのですが、やはり伊勢湾台風の話から始めさせていただきます。伊勢湾台風から 62 年たっており、2 年前に 60 年ということで多くのシンポジウム等が行われましたので、皆様方にはいろいろな記憶に残っていると思いますが、少し簡単におさらいします。

**名古屋大学土木系教室60周年記念シンポジウム**  
 変革期の今考える、中部の未来像～社会インフラの視点から～  
 2021年11月13日(土) 13:00～17:20 オンライン

自然災害の脅威～安全・安心な地域づくり～

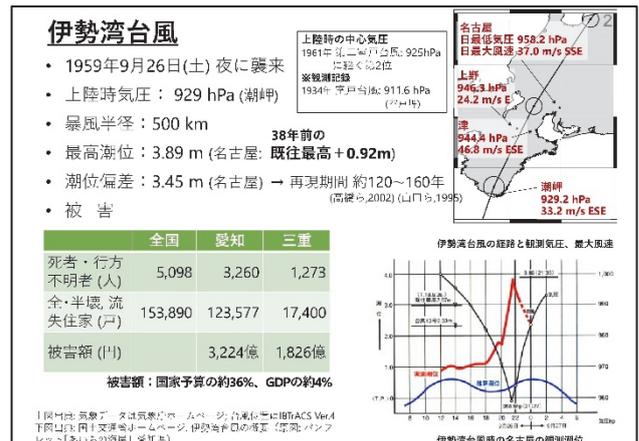
**高潮・高波の脅威と備え**

名古屋大学  
 大学院環境学研究科都市環境学専攻  
 富田孝史

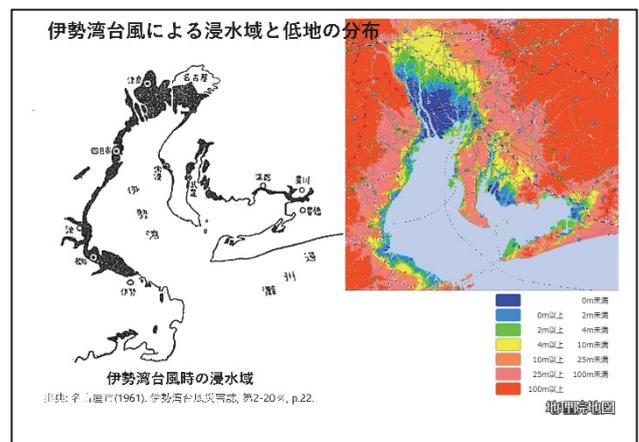
伊勢湾台風は 62 年前の 9 月 26 日の夜、伊勢湾にとって最悪のコースを通った台風になります。台風の強さは気象庁によると室戸台風に次ぐ第 2 位の非常に強いものでした。それからとても大きな台風でした。それが伊勢湾にとって最悪のコースを通ったことによって、伊勢湾の一番奥にある名古屋において 3.45m もの潮位偏差が発生しました。何もない状況に比べて 3.45m も海水が上がったこととなります。それが天文潮と合わさって 3.89m という高い潮位になりました。これは伊勢湾台風の 38 年前に記録された、その当時の既往最高よりも約 1m 高い潮位でした。

それにより高潮・高波災害が起こり、愛知、三

重県では 4500 名を超える方が犠牲になり、被害額が 5050 億円にも上る大きな被害になりました。当時の GDP と比較してみると、この額は 4% になります。4% がどんな値かということ、東日本大震災のときの GDP 比とほぼ同じだということで、そのような大規模の災害が愛知、三重だけの被害額でも発生したことになります。

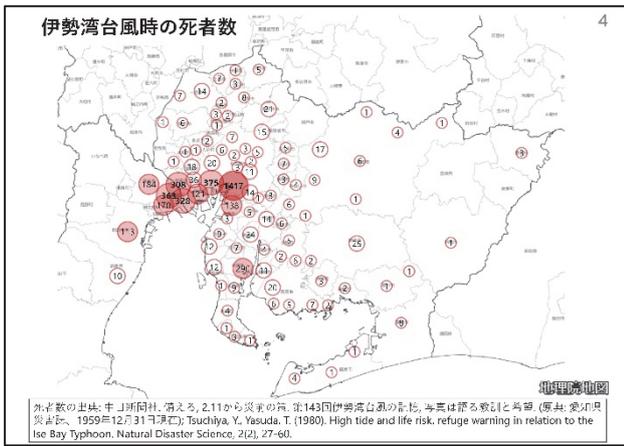


高潮・高波によって海岸堤防が約 220 カ所、延長においては 33km にもわたる長い距離で破壊され、それによって広い地域が浸水しました。名古屋の南部を中心に貯木場から丸太が住宅街に流れ込んでいったという被害も発生しています。野田先生の話にもありましたが、当時広がっていた低平地、濃尾平野、岡崎平野、豊橋平野、さらには三重県の沿岸部分の低地が広く浸水しました。



これは死者数を示したもので、三重県はデータ

が限られているので、必ずしも全ての市町村のデータになっていませんが、やはり高い潮位が発生した名古屋、あるいは伊勢湾の奥部で多くの方々が犠牲になっています。特に名古屋市の港区で1400名を超える方が犠牲になりました。これは高潮による水だけではなく、それに伴い1tにもなるような巨木が流れてきたことにより、このような大きな犠牲になったと報じられています。



災害の発生要因をハザードと脆弱性という観点から私なりにまとめてみたものが、このスライドになっています。まずハザードに関しては、既往最大を約1mを超える潮位になったということです。この年の10年前には東京湾や大阪湾で高潮災害が起こっていたし、三河湾でも6年前に高潮災害が起こっていました。しかしながら、名古屋では大きな被害が38年位なかったということで、名古屋周辺は安全地帯という神話のようなことも言われていたという資料も残っているところです。

脆弱性の観点からは、海岸堤防といった防御構造物が越流・越波に対し脆弱でした。越流・越波によって破堤して、それが大規模な浸水被害につながりました。さらに、そこには低平地が広がっていました。野田先生のお話にもありましたように、地盤沈下が広がっていたということです。そもそも干拓地であったということです。広い低平地であったがゆえに、広い範囲が浸水するし、浸水の深さも深くなってしまいました。さらには災害が終わった後、長期間灌水してしまいました。

場所によっては4カ月にも上るような長い期間、水に漬かってしまった地域もあるということです。

さらに、災害に対する認知も不足していたのではないかと思います。当時、暴風雨、高潮、波浪警報は名古屋で屋前に発表されていて、三重県の津においても同じような時刻に発表されています。さらに、報道機関からは特に台風の上陸後、午後6時以降は毎時のように台風の様子が報道されていました。しかし、当時1959年という時代は、まだまだテレビが全ての家庭に普及していませんし、携帯ラジオでさえも名古屋で普及率が21%でした。そういった状況において台風が近づいて来て停電してしまうと、コンセントにつながっているラジオしかないような家がたくさんあるわけですから、そういったところでは情報さえも伝わってこない状況であったと思われます。また、一部の市町村では、警報は気象庁から受けているけれども、それを住民に周知していない、あるいは避難命令を行っていないところもあったようです。

さらに、現在整備されているようなハザードマップさえもないという状況なので、こういった地域が危険なのか、一般市民はなかなか分からない状況であったと思います。

5

**災害の発生要因**

**災害 [disaster] = ハザード [hazard] × 脆弱性 [vulnerability]**

**【ハザード】**

- 既往最大を約1mを超える高い潮位
  - ・ 既往最大潮位の発生は名古屋では38年前
  - ※ 三河湾 1953年台風13号、東京湾 1949年キティ台風、大阪湾 1950年ジョン台風

**【脆弱性】**

- 越流・越波に対して脆弱な防御構造物 ⇒ 破堤による大規模浸水
- 低平地の拡がり (干拓地、地盤沈下) ⇒ 広範囲、深い浸水深; 長期の灌水
- 災害に関する認知不足
  - ・ 停電による情報途絶: 携帯ラジオ普及率は名古屋で21% (1955年初市販)
  - ※ 暴風雨、高潮、波浪警報は名古屋では11:15に発表: 気象業務法(1952年)
  - ※ 報道機関からの情報伝達があった: 特に台風上陸後は専任報道!
  - ・ 一部の市町村は、警報の住民への周知、避難命令を行っていない!
  - ・ ハザードマップはない

※ 図1 名古屋市(1961)、伊勢湾台風災害時

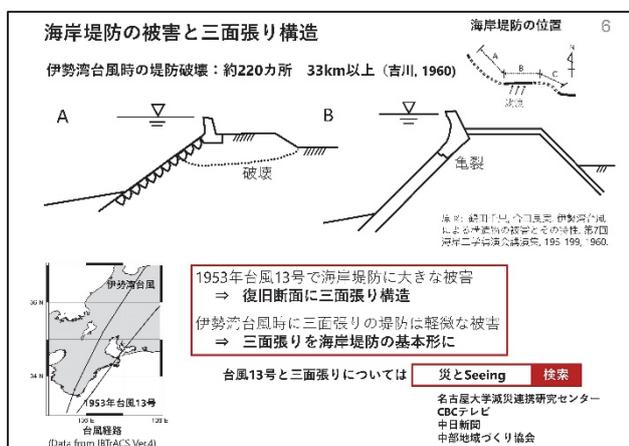
脆弱な海岸堤防というお話をさせていただきましたが、それがこの図です。1959年当時、伊勢湾、三河湾の周辺では、波が当たるような前面においては石積みやコンクリートを張って強固にし

ているのですが、背面は土そのもの、あるいは芝が張ってある程度という形式が主流でした。一方で、天端や背後にコンクリートを張ったようなもの一部にはありました。構造物の違いによる伊勢湾台風の被害状況を見ると、A については破壊、破堤してしまうような状況に対し、コンクリートが張ってある B については軽微な被害であったということでした。こういった被害は伊勢湾台風のときに初めて起こったのではなく、6年前の1953年、三河湾を通過した台風13号のときにも同じような被害が起こっています。13号台風の被災堤防の復旧断面に前面、天端、背面にコンクリートを張る、いわゆる三面張りという構造が採用されました。そういった断面は伊勢湾台風の際にもほぼ被害がなかったか軽微な被害で終わったということで、伊勢湾台風の後、三面張りが海岸堤防の基本形になりました。台風13号と三面張りについては、CBC テレビ、中日新聞、名古屋大学の減災連携研究センター、中部地域づくり協会が連携して作っている「災と Seeing」というプロジェクトの中で紹介されています。CBCは5分間のテレビ番組を作り、中日新聞は月1回の新聞記事を出すということを行っています。その中で13号台風、三面張りが取り上げられているので、興味がある方は「災と Seeing」で検索していただくと、そういった番組や新聞記事が見られますので、ご覧になってください。私も協力したこともあって少しだけ出ています。

伊勢湾台風の後、ほかの構造物にはこんなものがあります。名古屋港の前面には、名古屋港に入ってくる高潮、特に高波を防ぐような形で高潮防波堤が設けられていますし、陸ではこのような形で防潮堤が設置されています。これは JETTY の写真ですが、ここに防潮堤があるのをご存じでしたか。こういうところで、見えないような形で防潮堤が整備されています。



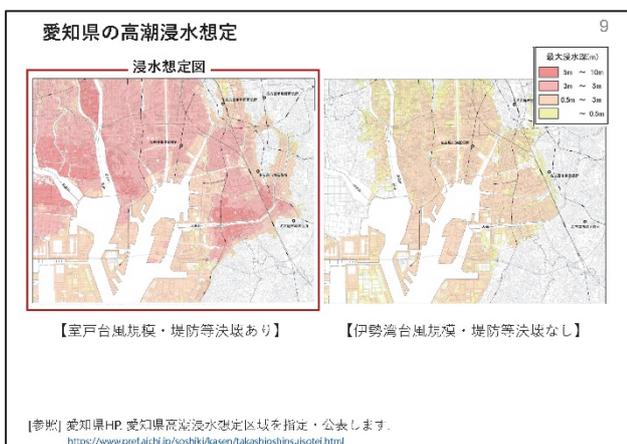
こういった防潮堤の高さは伊勢湾台風をベースに各地域で決められ、4.6~7.5mの高さで伊勢湾、三河湾をぐるりと回るように整備されています。高潮防波堤に関して先ほど写真をお見せしましたが、伊勢湾台風による高潮災害を契機として1964年に完成しています。その後、港内の埋め立てによる防災効果の進展があったということで、船が通る防波堤の間の航路を拡幅・増進しています。当時のシミュレーションによって広げても大丈夫だろうという結果の下に拡幅しています。その後、南海トラフ巨大地震という話が出てきて、地盤の液状化による沈下が予想されたので、沈下してもちゃんと高潮を防げるように嵩上げしつつ、さらには建設から50年たっているので老朽化対策を実施して2016年に完了し、今に至っている状況です。





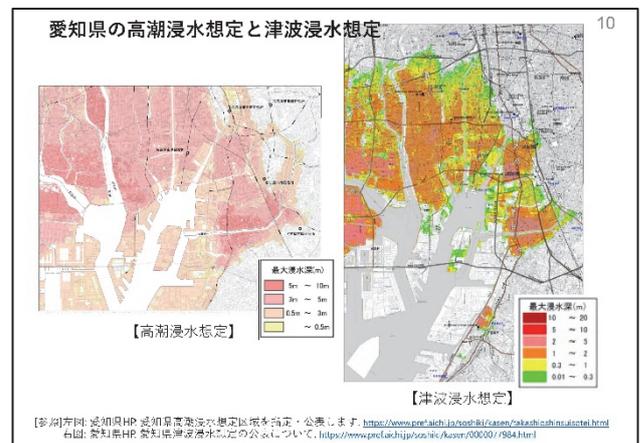
さらに、構造物対策だけではなく、土地利用についても工夫されています。名古屋市の臨海部においては建築制限が行われ、例えば赤で示しているところでは木造、居住を有する建築物、病院や小学校等は造れないということが定められています。

これは皆さんご覧になっていると思いますが、今年に入り愛知県から出た高潮浸水想定図です。最大規模の台風を想定することもあり、日本を襲った最大規模の台風の室戸台風規模の台風を対象に数値計算した結果です。さらに、越流・越波があると堤防等が壊れてしまう心配があるので、保守的な考えから、そういった状況においては堤防等が決壊するという条件の下に計算した結果となっていて、広い範囲が赤くなっています。愛知県全体の図があるのですが、これは名古屋港周辺だけを切り出しています。いろいろ構造物を整備していても、最大規模のハザードに対しては浸水してしまう危険性があります。



こちらは先ほどの同じ図ですが、右側には南海トラフ巨大地震による津波の浸水域を示しています。若干色の塗り方が違うので、見にくいところがあるのですが、津波によっても浸水してしまうし、逆に新しい埋立地においてはあまり浸水しないという状況にもなっています。こういった違いがあるということです。

最近でも全国を見ると高潮災害が起こっています。ただ、高潮により大規模に浸水したという被害はあまりなく、高潮に乗じた高波により堤外地、いわゆる防潮堤の海側にある地域が浸水しています。そういった地域では物流が行われているので、コンテナが流れたり、船舶が漂流したり、あるいはいろいろな施設を動かすための電気関係のものが浸水して、それにより被害が長期化しています。2019年には台風15号と19号が1カ月の差で東京湾に襲撃していて、台風15号のときには波浪がある地域の沖合で重なり合うことにより高波になり、それが護岸のパラペットを破壊し、沿岸の産業地域が浸水してしまいました。



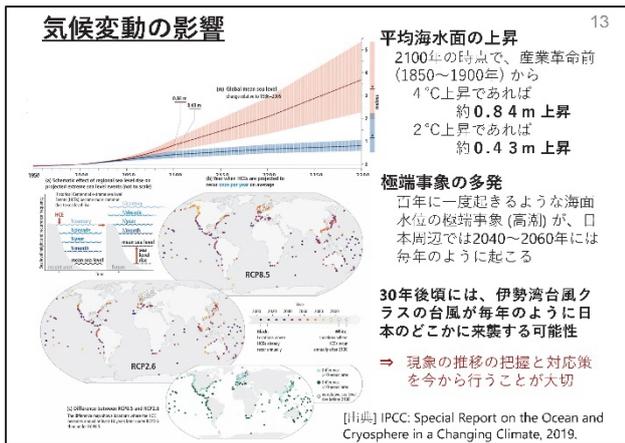
最近の高潮・高波災害		11
<b>2018年台風21号</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>9月4日12時頃徳島県東南部に上陸、14時頃神戸に再上陸（955hPa）</li> <li>大阪湾に高潮発生：大阪で36cm、和厂で3cm 既往最高潮位を超えた           <ul style="list-style-type: none"> <li>大阪で最高潮位3.29m、最大潮位偏差2.77m</li> </ul> </li> <li>堤外地で浸水発生：主に高潮に乗じた高波による</li> <li>コンテナ等流出、船舶等漂流、電気施設の浸水により影響の長期化</li> <li>関西国際空港の閉鎖による被害拡大</li> </ul>		
<b>2019年台風15号</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>9月9日5時前に千葉県に上陸（960hPa）</li> <li>東京湾に高潮発生           <ul style="list-style-type: none"> <li>東京で最高潮位1.61m、最大偏差1.59m</li> </ul> </li> <li>波浪の重合による高波で護岸パラペット倒壊           <ul style="list-style-type: none"> <li>商業団地が浸水し、483事業所、540件に被害</li> </ul> </li> <li>漂流船舶の衝突による臨港道路閉鎖</li> </ul>	<b>2019年台風19号</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>10月12日19時前に石川県付近に上陸（955hPa）</li> <li>駿河湾と東京湾に高潮発生：清水港で29cm 既往最高潮位を超えた           <ul style="list-style-type: none"> <li>清水港で最高潮位1.70m、最大偏差1.04m</li> </ul> </li> <li>堤外地で浸水発生：高波による</li> <li>横転沈没した船舶からの油流出</li> </ul>	

防災・減災対策		12															
<ul style="list-style-type: none"> <li>防御施設等のハード対策           <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 台風1821号では第二号台風による高潮位を超えても防災施設後の浸水を概ね防ぐことができた。</li> </ul> </li> <li>台風情報・避難情報、ハザードマップ等のソフト対策</li> </ul> <p>⇒ 伊勢湾台風以降、死者20名を超える大きな高潮災害は起こっていない。</p>																	
<p>しかし</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>事象</th> <th>影響</th> <th>対策</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>台風9918号：海岸堤防は越えなかったが漁港の船溜護岸から浸水</td> <td>地域のなかの脆弱な地区での災害</td> <td>脆弱な地区の把握とその防災</td> </tr> <tr> <td>台風0416：護岸を超えた海水が内陸の低地にたまる</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>台風1915号：高潮に乗じた高波による護岸倒壊に伴った浸水</td> <td>臨海部の産業に影響</td> <td>高波への対応</td> </tr> <tr> <td>台風1821号、1919号：港湾、漁港など堤外地における浸水</td> <td>被災企業等だけでなく、SC等を通じて地域経済に影響</td> <td>堤外地における対応 減災+レジリエンス</td> </tr> </tbody> </table>			事象	影響	対策	台風9918号：海岸堤防は越えなかったが漁港の船溜護岸から浸水	地域のなかの脆弱な地区での災害	脆弱な地区の把握とその防災	台風0416：護岸を超えた海水が内陸の低地にたまる			台風1915号：高潮に乗じた高波による護岸倒壊に伴った浸水	臨海部の産業に影響	高波への対応	台風1821号、1919号：港湾、漁港など堤外地における浸水	被災企業等だけでなく、SC等を通じて地域経済に影響	堤外地における対応 減災+レジリエンス
事象	影響	対策															
台風9918号：海岸堤防は越えなかったが漁港の船溜護岸から浸水	地域のなかの脆弱な地区での災害	脆弱な地区の把握とその防災															
台風0416：護岸を超えた海水が内陸の低地にたまる																	
台風1915号：高潮に乗じた高波による護岸倒壊に伴った浸水	臨海部の産業に影響	高波への対応															
台風1821号、1919号：港湾、漁港など堤外地における浸水	被災企業等だけでなく、SC等を通じて地域経済に影響	堤外地における対応 減災+レジリエンス															

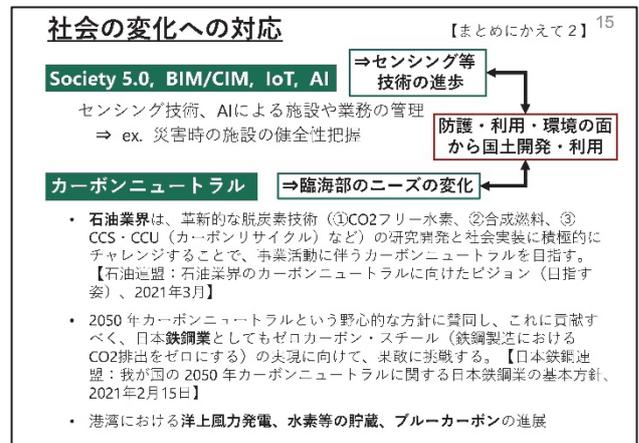
これまで行ってきた防災・減災対策を見てみると、防護施設等のハード対策が進められてきました。それによって大規模な浸水はかなり抑えられてきています。さらに台風情報等の周知、ハザードマップを整備することによる住民等のリスクの認知によって、多くの方が亡くなるような被害は発生していません。しかしながら、海岸堤防は超えなかったけれども、その背後につながる漁港の船溜護岸から浸水すること、あるいは護岸を超えた海水が内陸部の低地にたまることにより、人が亡くなってしまふことが発生しています。さらには先ほど申しましたように、港湾や漁港の堤外地における浸水が起こっており、産業に被害が出ています。さらに被災地だけではなく、サプライチェーンによって国内外の経済にも大きく影響するといった災害が最近見られている状況です。したがって、脆弱な地域の把握とその防災や高波への対応、産業などが展開する堤外地の対応、さらには防災・減災だけではなくレジリエンスが重要であると思います。

また、これからの気候変動により、平均海面が上昇することは皆さんご承知だと思いますが、最近の報告によると百年に一度起こるような高潮が、日本周辺では今世紀半ばごろには毎年のように起こる という推定もあります。ということは、今後 30 年ぐらいで伊勢湾台風のような台風が、もしかしたら毎年のように日本のどこかに襲来する可能性があるかもしれません。そういった状況をちゃんと把握することと、対策を今から行うことが大切です。インフラを整備するためには時間がかかりますので、そういった対応を今から行うことが大切になります。

そのためには、まずハザードを把握すること。それから少なくとも人の命を守る。津波でいうとレベル 2 になりますが、そのときには災害対応能力が大切です。防災教育だけではなく、BCP や緊急時におけるタイムライン、フェーズ別対応計画が重要になります。さらには、堤外地でも多くの活動が行われているので、そういったところの防災力の強化も大切になります。



を踏まえながら、総合的に国土の開発や利用を行っていくことが必要ではないかと思います。私からの話題提供は以上です。どうもありがとうございました。



### 計画的・総合的な国土デザイン

【まとめにかえて1】 14

**ハザードの把握**  
・ 巨大地震・津波  
・ 気候変動に伴った平均海面、高潮の上昇

**災害の防除 (人命+財産を守る：レベル1)**  
⇒ 浸水を防除するための防御インフラの整備  
⇒ 今後の気候変動に対応して計画的に、そして防護、利用、環境面から総合的に防護水準と優先順位を定める

**災害の軽減 (少なくとも人命を守る：レベル2)**  
⇒ 災害対応能力の強化  
・ 防災教育  
・ タイムライン、フェーズ別対応計画  
・ 事業 (業務) 継続計画  
⇒ 堤外地の防災力の強化

これまで、想定を超えた時に大きな災害  
↓  
起こりそうな事象、事態の想定  
↓  
確率論的評価  
リアルタイム評価

また、レベル1ということで、人の命だけではなく財産を守ることも大切。そのためには防御インフラを整備することが大事で、計画的に、さらには防護、利用、環境の面から総合的に防護水準と優先順位を定める必要があるだろうと思います。

特にこれまでの災害を振り返ってみると、想定を超えるような大きなハザードが起こったときに大災害になっていますので、そういったものを事前に想定しておく、考えておくことが大事。そのためには確率論的な評価も必要ですし、そのときの状況においてリアルタイムで評価することも大切だと思います。

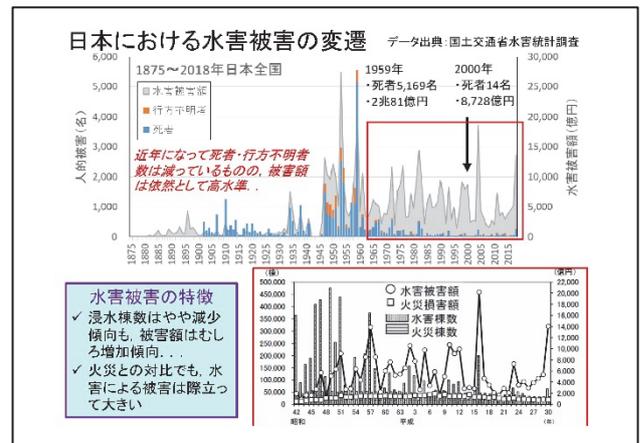
あと、Society 5.0 など情報関係の技術がどんどん発展していますし、カーボンニュートラルということで、業界ではまさにこれが生命線という形でどんどん技術開発されています。そうした中でセンシング等の技術の進歩があるし、臨海部のニーズの変化があるかもしれない。そういったこと



因として雨の降り方があります。富田先生から気候変動の話もありましたが、実績で見ても雨の降り方が大きく変わってきていることが昨今の状況としてあります。こちらは1時間に50mm以上の雨が降る集中豪雨の発生回数を示したのですが、1970年代から80年代にかけての平均発生回数に比べて、直近10年間の平均発生回数は約1.4倍ということで、短い時間の中に非常に激しく集中して降るといふ雨の降り方が通常になってきました。

この雨の降り方を踏まえ、直近の大きな水害となると、昨年度も球磨川で大きな水害がありましたが、広域での大規模氾濫となると令和元年の東日本台風に触れておかなければいけないだろうと思います。国が管理する河川の12カ所、県が管理する河川の128カ所で破堤して、それぞれの地域で大規模に氾濫が起きました。その前年に西日本豪雨、平成30年7月豪雨がございましたが、国が管理する河川では2カ所、県が管理する河川では35カ所であることを踏まえても、非常に大きな被害があったという言い方もできるかと思えます。ただし、死者については、西日本豪雨に比べると、やや少なく済んだのが不幸中の幸いではあります。

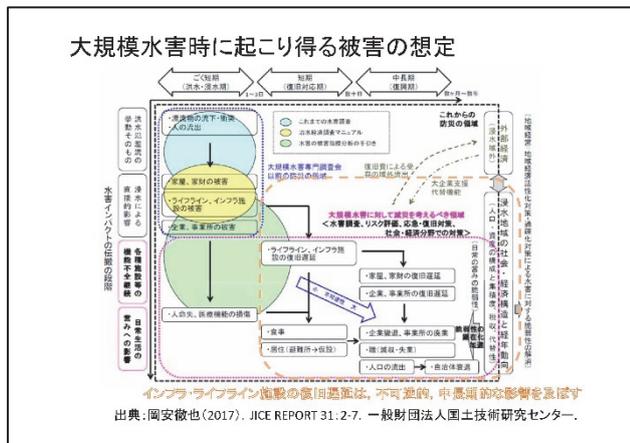
で人的被害の数を、面グラフで経済被害を示していますが、人的被害が一番大きくなっているのは1959年の伊勢湾台風があった年です。それから、伊勢湾台風とともに、この地域にとって忘れてはならない水害として東海豪雨がございます。その2000年を示していますが、伊勢湾台風で5000人を超える方が亡くなったことに比べると、少ない人的被害ではありますが、経済被害としては非常に大きいレベルで生じたことが分かります。この棒グラフと面グラフを対比してみると、人的被害は顕著に減ってきたという見方ができる一方で、経済被害は依然として高い水準にあると言えます。さらに、こういった特徴をほかの災害と比べるために、下にお示しするのは火災による被害と対比したグラフになります。火災は確率的に発生しているように見えて、ばらつきとしては小さいですが、水害に比べると全体的な水準は低めである傾向が見てとれます。



こうした水害の直近の状況ですが、過去から現在にかけてどのように推移しているかを数値で示したものが、こちらになります。これは国土交通省が毎年発行している水害統計調査について、貨幣価値を標準化してまとめたものです。棒グラフ

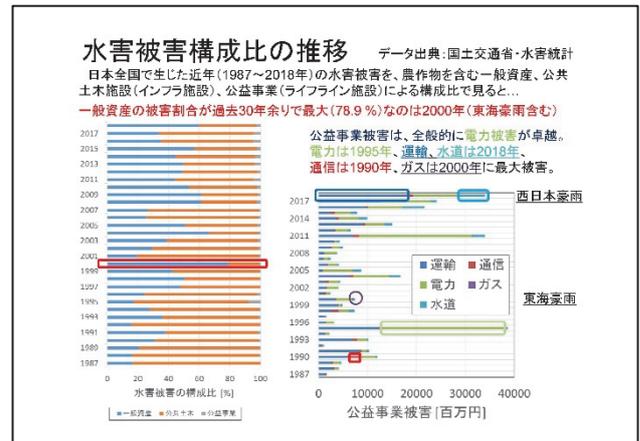
先ほどの統計は平成 30 年度までのものでしたが、令和元年のものを加え、特に経済被害に特化して見てみると、平成 30 年、令和元年は非常に大きな経済被害をもたらしたことが改めて確認できます。この五つの棒グラフの中には、東海豪雨があった 2000 年のデータも含めていますが、それを踏まえても直近の洪水氾濫の脅威が浮き立ってくるように思われます。

大規模水害時、先ほどの経済被害については直接の被害をまとめたものですが、必ずしも直接的な被害だけではなく、さまざまな連鎖系を経て長期化するような影響もあります。特に、私がいま所属している研究室の名前にもなっていますが、ライフラインやインフラなど、そういったものの途絶やその後の復旧までに要する時間を経て、中長期的に経済あるいは通常の活動に大きな影響を及ぼすことも忘れてはならない点です。



経済被害の中でもインフラ、ライフラインに少し絞り込んだ形で、水害被害の経年変化を見たものがこちらになります。左側の図には水害被害の構成比、1987 年以降のものを示していますが、中ほどにある東海豪雨のときに一般資産の被害が非常に大きかったので、街の中が非常に大きな被害に遭ったことがわかります。右側についてはインフラとライフラインの施設被害をまとめたものですが、何年かに 1 回これらの被害が非常に大きくなっています。例えば、電力被害で見ると 1995

年、運輸、水道の被害は 2018 年が非常に大きくなっており、後者は西日本豪雨の影響であることなどが推察されます。また、ガスについては、2000 年の東海豪雨のときに大きな被害となりました。これは愛知県を中心にした被害なので、都市ガスの影響が非常に大きいことが示唆されます。直接被害とともに、それらの施設が損壊することにより生じる間接的な被害についても考えた上で、備えが必要になります。



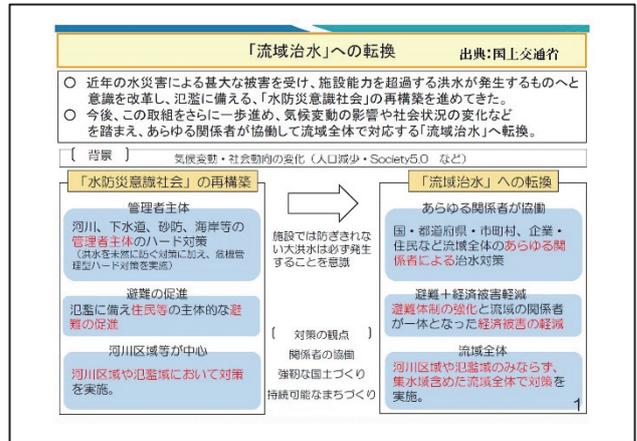
東海豪雨について、ごく簡単に振り返っておきますと、左側の図が名古屋市を中心とした地域の浸水状況を示しています。薄い水色で示しているのが、雨水を排出し切れなくなって起こっているような内水氾濫のエリアで、少し濃い青色で示しているのが外水氾濫により、川の水があふれて浸水したエリアです。非常に広域にわたり、特に内水氾濫が起きたということであり、名古屋市域に

おいては 37%の地域が浸水したと言われていま  
 す。右側には外水氾濫と内水氾濫が混在して起き  
 ている新川周辺を示しています。こちらの図の色  
 分けは標高の分布になっており、たまたまかもし  
 れませんが、すり鉢状に低くなっている地域の中心  
 で破堤が起こって、お椀の中に水がたまるよう  
 な格好で外水氾濫が起きて、その周辺でも内水氾  
 濫が起きたことが分かります。内水氾濫、外水氾  
 濫は、発生直後は見た目でもよく判別することが  
 でき、右下にはそれが典型的に表れています。す  
 なわち、外水氾濫は山から運んできた土砂が川の  
 水を流れるのですが、それがあふれるために茶色  
 い水の浸水が広がっている様子、内水氾濫につ  
 いては比較的澄んだ雨水を中心にした浸水である  
 ことが分かっていただけるかと思えます。

以上のような水害の状況を踏まえ、どんな対策  
 が行われてきているのかということで申しますと、  
 近年で大きな変化として挙げられるのは、平成  
 27 年の鬼怒川の水害を受けて国土交通省が発表  
 した水防災意識社会再構築ビジョンです。防災と  
 言いながら、ソフト対策とハード対策が両方含ま  
 れています。ハード対策については通常治水整備  
 で行われることが多いですが、この再構築ビジョ  
 ンでは水防災を主眼に置いたハード対策というこ  
 とで、堤防の高さそのものを変えるわけではな  
 いですが、強度、粘り強さをアップさせることによ  
 り、越水しても機能することがうたわれています。  
 ソフト対策では、ハザードマップが非常に大規模  
 に更新されて、想定最大規模の洪水に対する浸水  
 想定区域が含まれるようになりました。



さらに、西日本豪雨、東日本台風の被害を受け  
 たことを踏まえ、昨年には流域治水という考え  
 が広く発表されました。すなわち、水防災とい  
 う観点では、治水あるいは河川整備計画のレベル  
 そのものを変える段階ではなかったのですが、そ  
 もそも堤防やダムなども含めて見直す、あるいは川  
 の中の構造物だけではなく、周辺のあらゆる関係  
 者が協働するというこで、氾濫するかもしれ  
 ない区域も含めて治水対策を進めようという形を  
 目指す制度が策定されています。





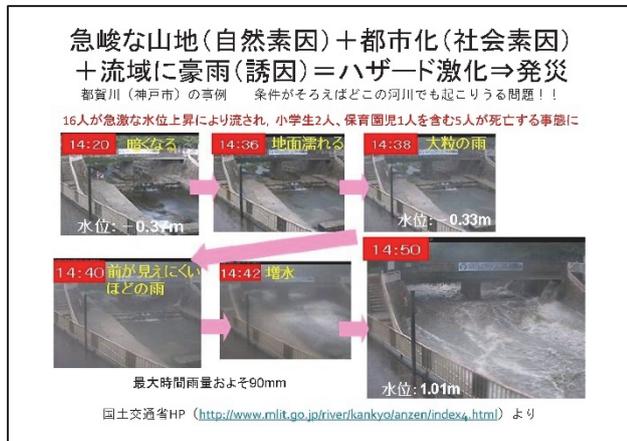
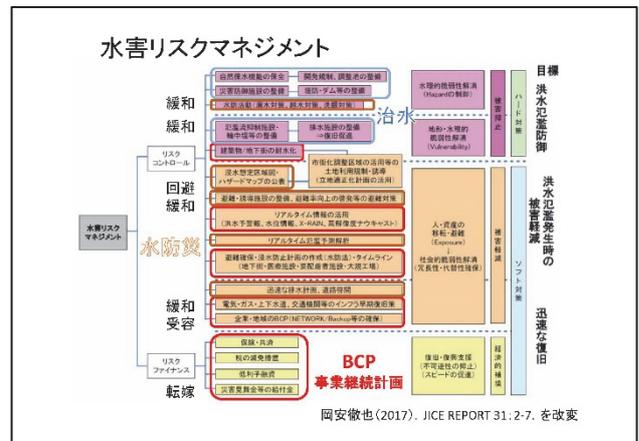
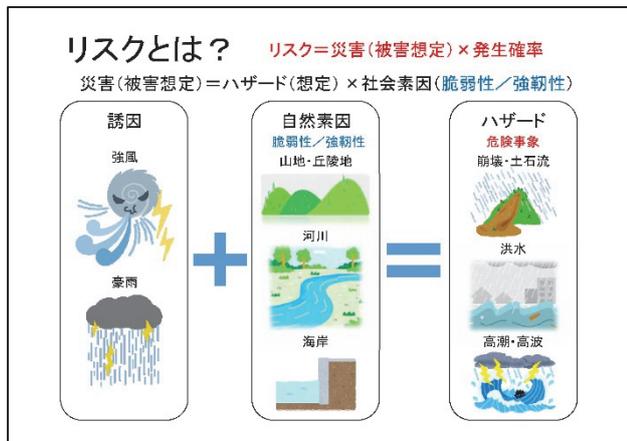
で進めてきたように、ハード対策としての水防災を含めて、治水の対応も進めていく必要があるだろうということかと思えます。



リスクの話は富田先生も少し触れられていたので、今日は時間の関係もあり割愛させていただこうと思います。



水害のリスクをどうやって管理していったらいいかを考えていくと、岡安がまとめた整理をお借りすると、やはりハード対策、設備を更新していく治水と、ハードと多くのソフトを含めて行っていく BCP、あるいはその中間的などところに位置するような、さまざまな水防災対策があるかと思えます。



こういったものを組み合わせながら、つまり河川管理者に限らず、あらゆる主体が協力し合って、最大限、洪水氾濫の防御に努め、被害が大きくなるのを食い止めながら、しなやかに復旧できるように備えるということで、治水、水防災、BCPを組み合わせながら、もともとある概念である自助、共助、公助とうまく連携して進めていかなくてはなりません。そのために、これは重視しておかなければいけないことだと思いますが、社会インフラの整備や維持管理は超・重要になってくる

と思います。

以上、私からの話題提供とさせていただきます。  
ありがとうございました。

The slide is titled 'まとめ' (Summary) and discusses the increasing risk of flood inundation. It lists three key points: 1) Collaboration beyond river managers, 2) Maximum effort in flood defense, and 3) Preparing for quick recovery. To the right, three colored circles represent '治水 = 防災' (Water Management = Disaster Prevention), '水防災 = 減災' (Water Disaster Prevention = Disaster Reduction), and 'BCP' (Business Continuity Planning). A vertical red bar on the right side of these circles is labeled '自助・共助・公助' (Self-help, Mutual help, Public help). At the bottom, a red text box states 'そのための社会インフラは超・重要！！' (Social infrastructure for this is super-important!!).

**まとめ**

洪水氾濫のリスク増大傾向を踏まえ、

- ▶河川管理者に限らず、あらゆる主体が協力し合うことにより、
- ▶最大限、洪水氾濫の防御に努め、
- ▶被害が大きくなるのを食い止めたうえで、
- ▶しなやかに復旧できるように備える

治水 = 防災

水防災 = 減災

BCP

自助・共助・公助

そのための社会インフラは超・重要！！

## 第1部 質疑

【戸田】 それでは、第1部の話題提供を3件終えましたので、質疑の時間に移りたいと思います。

まず、コメントフォームに1件質問が届いているので、そちらを読ませていただきます。「岐阜県は伊勢湾台風による高潮被害はなかったとされているのでしょうか」という質問で、高潮の文字が強調されて書かれているので、伊勢湾台風時に岐阜県で、洪水でなく、高潮による被害がなかったのかという質問だと思います。これについては富田先生、よろしくをお願いします。

【富田】 岐阜県は日本の中でも海のない県の一つに数えられているので、海から直接的な高潮災害はなかったということです。しかしながら、木曾三川が伊勢湾に流れ込んでいるので、高潮で海側がふさがれてしまう、要するに海側の水位が上がって川が流れにくくなることにより、河川からあふれていくという災害はあったと記録されています。

以上でよろしいでしょうか。

【戸田】 私から田代先生に質問ですが、洪水災害に関しては本当にここ数年、毎年のように甚大な被害が起こっており、国としても大きく対策を打ち出し、取り組んでいるところだと思います。全国的な動きの中で、中部で特に流域治水などを進める上で、気にしておかなければいけない点があれば教えていただけないでしょうか。

【田代】 今日の発表では、戸田先生も参加されている国交省の検討会の資料なども使わせていただきました。そういう意味では、いろいろ勉強させていただいていますし、今いただいた質問も非常に難しく、重要なお示唆だと思いながらお聞きしていました。

やはり中部の場合には、濃尾平野が非常に広大

に低平地として横たわっているところが、一つ大きな特徴としてあるのではないかと思います。野田先生も触れていただいていたと思いますし、富田先生も高潮被害のところで触れていただきましたが、今日も私はどうしようかと思いながら、触れられなかった面はあるのですが、低平地があれだけ広がっている地域は、なかなかほかの地域にはない特徴だと思います。

そういう意味で、普段の水の流れ方と大きく異なるような、例えば上流のはるかに離れたところで氾濫が起こっても、土地の勾配を経て、非常に遠いところから浸水がやってくることも想定されると思います。鬼怒川のときに少しそれに近いような状況がありましたが、流域のつながりを意識しながら、あるいは川のやってくる元のところを意識しながら備えていただくのが大事かと思っています。定性的な話で申し訳ないです。

【戸田】 ありがとうございます。もう1件、「専門家および行政の防災・減災への取り組みが進んでいる一方で、一般の方々を巻き込んだ情報共有はどのようになっていますか」という質問が寄せられています。これは減災センターの取り組みが近い内容になると思いますが、いかがでしょうか。一般の方への情報共有の状況です。

【田代】 もし私の言ったことで補足等あれば、ほかの先生方にお問い合わせできればと思います。減災センターは、先ほど話題提供のところでも若干広告的に紹介させていただいた取り組みとして、クラウドファンディングあるいは市民講演会などもかなり頻繁にやっています。もちろん水害だけではなく地震や火山噴火も含めた形で、一般の災害に関する啓発などの研究で得た内容をできるだけ早くフィードバックして、皆さんと共有するような仕組みを模索してきたところでもあります。

いまコロナ禍で減災館が一般公開という状況になっていませんが、少し収まってきたということで、申し込んでいただければ、ご予約いただいた

方にはご案内できるような仕組みも確保しています。まずは、そういった形でチャンネルを設けながら共有して、社会的にも水災害だけではなく、防災のムーブメントをつくっていければと考えています。今後ともホームページ等を通じて、そういった動きを確認していただければと思います。よろしく申し上げます。

## 第2部

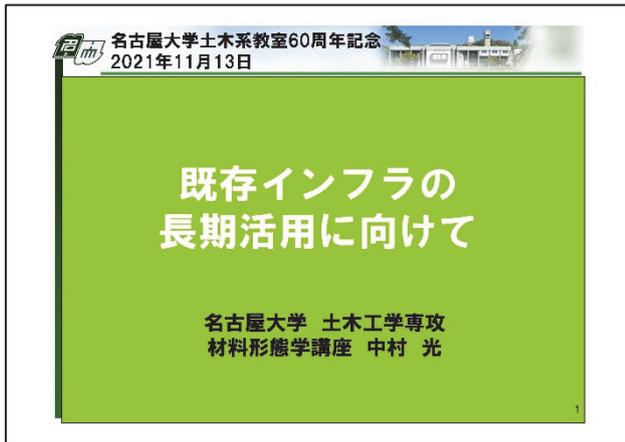
社会構造の変化、多様な価値観

～持続可能で快適な暮らし～

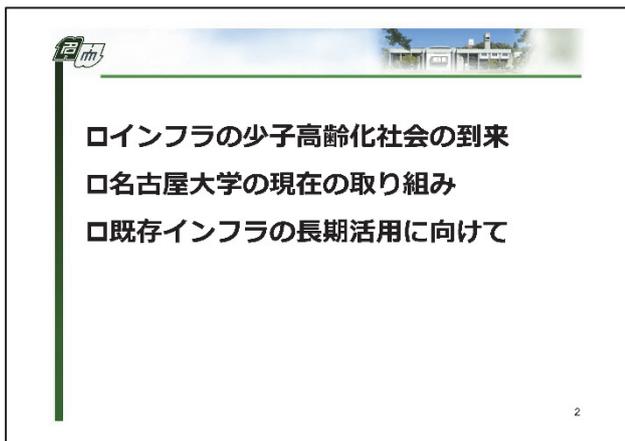
既存インフラの長期活用に向けて

話題提供者：中村 光

材料形態学グループ、コンクリート研究室を担当している中村です。どうぞよろしくお願ひします。

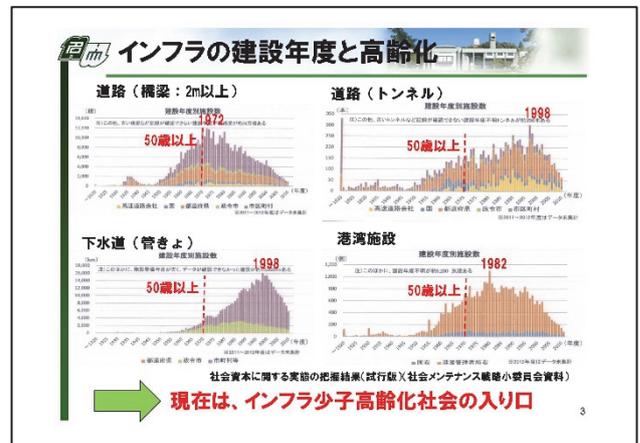


本日、私からはインフラの維持管理に関する話として、インフラの現状はどうなっているのか、そのような現状に対し名古屋大学は現在どのような取り組みを行っているか、今後は維持管理のために名古屋大学あるいは一般的に何を考えていくべきということを話させていただきます。



まず、この図ですが、道路の橋梁、トンネル、下水道、港湾施設が、いつ、どのくらい建設されたかということを示したものです。これを見ていただくと、例えば道路橋梁ですと 1972 年が建設の

ピークで、その後ずっと減っています。いずれの施設でもインフラの少子化が非常に進んでいるということです。一方、一つの指標として 50 歳以上のインフラを見てみると、例えば橋梁はこれから 1972 年の建設ピーク時期のものが 50 歳になるということで、インフラの高齢化は今後急激に進んでいくことが分かります。現在はインフラの少子高齢化社会の入り口なのです。メンテナンスが重要だと言われ、社会的な問題にもなっていますが、今は入り口であり、これから本格的に始まるのだと、まず認識していただきたいと思います。



そのような状況の中で、先ほど自然災害の話がありました。自然災害の脅威からインフラは人命を守る、あるいは社会活動を守るという役割を果たしています。しかし、劣化をすることは守る力が低下するということです。この状況の中で、一つの契機になったのが、2012 年に笹子トンネルの天井板が落下する事故です。その後、維持管理に関する法律が変わり、さまざまな対応がされるようになりました。ただし、つい最近ですが、和歌山市の水道橋が崩落して社会生活に非常に大きな影響を与えました。維持管理が社会全体に影響を及ぼしている事例です。今はまさにインフラが高齢化して老朽化するか、長寿命化するかという境目で、長寿命化するために何をしなければいけないかを考えなければいけない状況だということです。

### インフラの守る力が低下

磁子トンネル天井板落下(2012年)  
(写真:トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書)

和歌山市水道橋崩落(2021年)  
(写真:読売新聞オンライン)  
6万世帯が6日間にわたって断水

メンテナンス元年(2013年)

- 道路法一部改正により、道路施設の点検基準の法定化
- 道路法、河川法、港湾法、下水道法、鉄道事業法、水道法も同時期に改正

老朽化 ← インフラ 高齢化 → 長寿命化  
維持管理

### 2020年度の診断結果(A~E5段階評価)

道路		鉄道		港湾	
橋梁	C	橋梁	B	係留施設	C
トンネル	D	トンネル	B	外郭施設	C
路面(舗装)	C	軌道	B		
河川		水道		下水道	
堤防	C	管路施設	C	管路施設	B
河川構造物	D				
ダム本体	B				

施設の健康度  
A 健全 B 良好 C 要注意 D 要警戒 E 危機的  
矢印: 将来の健康度の予測

日本全体としてインフラがどうなっているかということを考えていただく上で、土木学会はインフラの健康診断を2016年から行っています。

一方、日本全体の評価とともに、今年度、土木学会では道路橋梁について、全国の市町村の劣化度マップを独自に評価した指標に基づき公表しています。これを見ると、日本全国では劣化度の違いが随分見えます。中部地方はこちらの地図となり、東海地方は全国的に見たら中位の損傷状況かなと思います。東海地方は日本全体から見たら厳しい状況ではないですが、この状況を如何に守っていくかということが重要になります。

### 土木学会によるインフラ健康診断

土木学会が、第三者機関として日本のインフラの健全状況の評価を行い、その結果を公表し解説することにより、広く国民の皆さんに社会インフラの老朽化の現状と社会インフラの維持管理・更新の必要性や課題を認識してもらおうこと。

道路、河川、港湾、水道、下水道、鉄道で行っているのですが、例えば2020年度の結果ですとCが要注意、Dが要警戒、Bは良好ですが、全般的に見ると日本全体のインフラはだいたい要注意ぐらいということになります。一方、矢印は現在の維持管理体制を続けたら、インフラはよくなるほうに行くのか、変わらないのか、さらに劣化が進むのかということを示したものです。現状のままでは健康度の向上は見込めない、劣化するばかりです、ということを示しています。

### 道路橋梁の市町村単位の評価(2021年10月)

健康診断評価に用いている損傷度を使用し、損傷度の小さい方から1499市町村を単位付け  
 上位25%を青(375自治体)、中位50%を黄(749自治体)、下位25%を赤(375自治体)で損傷(※上位=損傷度が小さく健全な構造物が多い)  
 各市区町村にある橋梁損傷度に基づいた評価

中部地方 東海は、中位の損傷状況

http://www.jsce.or.jp/committee/reportcard/index.html  
 地域の維持管理を考えるために、劣化状況の見える化

では、このよう現状に対し、名古屋大学はどのようなことを現在行っているかということをお話します。



## ロインフラの少子高齢化社会の到来

### 名古屋大学の現在の取り組み

### 既存インフラの長期活用に向けて

8

インフラの維持管理はインフラの構造物だけを扱うわけではなく、マネジメントなど非常に幅広い分野ですが、インフラ施設ということで取り上げると鋼構造グループとして、館石教授、判治准教授、清水助教のグループ、コンクリートの材料・構造グループとして、私、三浦准教授のグループが維持管理の研究を行っています。鋼構造グループの中では土木鋼構造物の疲労強度評価、あるいは疲労強度をどのように向上させるかの検討を。また、疲労亀裂が出たら、どのように補修するかという補修方法の提案を。さらに今後を見据え、長寿命構造部材の開発が現在行われています。私のいるグループではコンクリートの劣化メカニズムの評価、特に劣化としては鉄筋腐食を取り上げ、構造物への影響評価を集中的にやっています。それから、劣化した構造物がどのような状態かという構造的な評価、また点検という観点で非破壊点検手法の開発を行っています。

このような形で、鋼とコンクリート構造物を対象にして、日本の中でも幅広く維持管理系の研究を実施しているのではないかと考えています。



## 研究テーマ

### 鋼構造グループ: 館石教授、判治准教授、清水助教

- ✓ 土木鋼構造物の疲労強度評価
- ✓ 疲労強度向上法
- ✓ 補修方法の提案
- ✓ 長寿命構造部材の開発





### コンクリート材料・構造グループ: 中村教授、三浦准教授

- ✓ コンクリートの劣化メカニズム評価
- ✓ 鉄筋腐食の構造物への影響評価
- ✓ 劣化コンクリート構造物の構造的な性能評価
- ✓ 非破壊点検手法の開発




9

一方、名古屋大学の取組みで特筆すべきものとして、教育と研究のフィールドということで、ここに示している N<sup>2</sup>U-BRIDGE という施設を構築して、この施設を使った教育・研究活動を行っています。どのようなことかということ、実際に使われて劣化して撤去された橋梁を名古屋大学に移設し、また橋の形に戻し、ここで教育と研究活動を行っている。まさに劣化した橋梁が身近にありますから、患者と向き合う臨床型の教育を実践しているということです。

施設は 2011 年 9 月に完成しました。笹子トンネルの天井版落下事故が 2012 年 12 月ですから、その事故よりも 1 年以上早い段階でこのような施設が完成しています。当然それよりも随分前から計画をしていましたから、インフラの維持管理が社会的な問題として大きく取り上げられる前に、名古屋大学としては先駆的に維持管理の問題に取り組んできたと考えています。



## 教育と研究のフィールド

### N<sup>2</sup>U-BRIDGE (2011年9月完成)

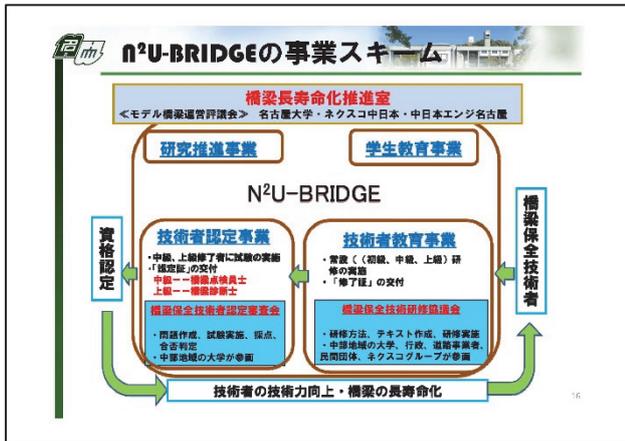


PC中実鉄橋  
 上流 PC中実鉄橋 (5.1M径) (2011年9月完成)  
 PC T形橋  
 上流 PC T形橋 (5.1M径) (2011年9月完成)  
 下流 PC T形橋 (5.1M径) (2011年9月完成)  
 支保  
 ITMP  
 橋脚使用済み橋脚 (2011年9月完成)  
 ITMP  
 ITMP  
 PC中実鉄橋  
 ASH鋼材試験  
 支保

臨床型教育の実践

10

この N<sup>2</sup>U-BRIDGE を使い、研究推進、学生教育、技術者認定、技術者教育という事業を行って、特に社会人教育にしっかりと取り組んでいます。ただし、このような事業を名古屋大学だけで行うのは難しい。



そこで、ここに示したように大学では中部地域の9大学の鋼とコンクリート系の先生に協力を願ひ、官公署では地方整備局、それから各県、政令指定都市、公社の方々、また民間業界団体にも協力いただいております。まさに中部の橋梁の維持管理に関わる方全てに協力いただいております、その核となって名古屋大学が社会貢献できればと考えています。

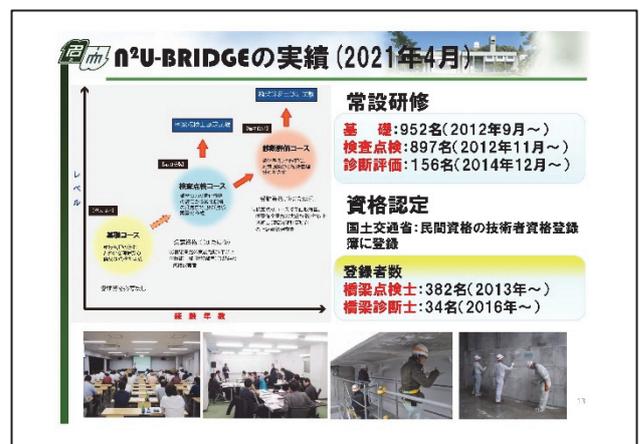
**N<sup>2</sup>U-BRIDGEの事業参加者**

橋梁保全技術研修協議会

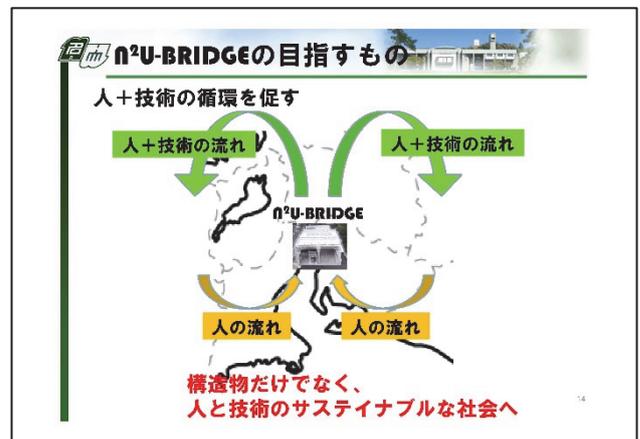
大学	岐阜大学、名古屋工業大学、名城大学、金沢大学、富山県立大学、福井大学、愛知工業大学、中部大学、豊橋技術科学大学（9大学）
官公署	・国土交通省中部地方整備局 ・愛知県、岐阜県、三重県、福井県、富山県、石川県、静岡県 ・名古屋市、静岡市、浜松市 ・愛知県道路公社 ・名古屋高速道路公社（13機関）
民間業界団体	（社）フレスト・コンクリート建設業協会 （社）日本橋梁建設協会中部事務所 （社）建設コンサルタンツ協会中部支部（3団体）
ニューブリッジ事業者	名古屋大学 中日本高速道路㈱ 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋㈱

どのようなことを行っているかという、常設研修として基礎コース、検査点検コース、診断評価コースの3つのコースで維持管理技術者育成の

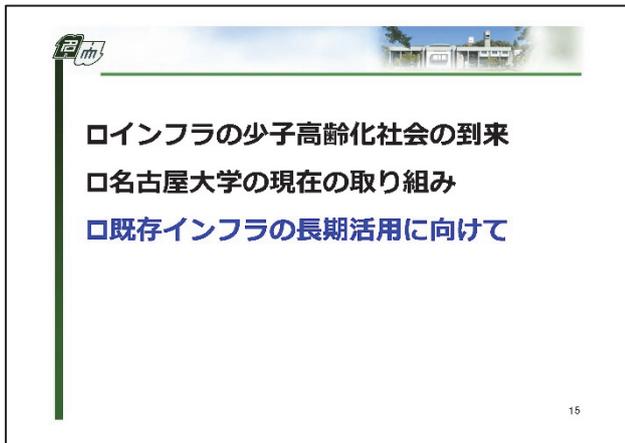
ための研修を行っています。点検技術者を育成する目的の検査点検コースでは、約1000名の方が今まで研修を修了しています。また、修了された方には資格認定ということで試験を行っています。合格した方には橋梁点検士、橋梁診断士という呼称を付与しており、その資格は国土交通省の民間資格に登録されています。その資格を持って多くの方に実際に活躍していただいております。橋梁点検士については400名弱の方が既に合格されています。



このような N<sup>2</sup>U-BRIDGE を用いた試みの目指すものですが、名古屋大学に来ていただくと、そこに技術がある。その技術を身につけ、さらに能力を上げた技術者が各地域に配置され維持管理に従事される。インフラの維持管理には人と技術も必要だということで、構造物だけでなく、人と技術も含め、全体としてサステナブルな社会を目指しています。



さて、では、今後どうすべきかということで私見を交えて話をします。



**ローインフラの少子高齢化社会の到来**  
**名古屋大学の現在の取り組み**  
**既存インフラの長期活用に向けて**

まず今後、維持管理を取り巻く社会状況がどのようになるかということですが、国土交通省ではインフラの維持管理にどの程度費用が必要かということを出しています。これを見ると年間5兆円から6兆円、ずっと継続的に必要となるということですから、私たちはこの維持管理による社会負担をどのように減らすかを考えていかなければいけないと思われま。



	2018年	2028年	2048年	30年間合計
道路	1.9	約2.5	約2.1	71.6~76.1
河川等	0.6	約0.7	約0.8	18.7~25.4
下水道	0.8	約1.2	約1.3	37.9~38.4
港湾	0.3	約0.2	約0.2	6.0~8.3
空港・港湾構・公園・公営住宅・官庁施設・観測施設	1.6	約1.3	約1.6	42.3~46.4
<b>合計</b>	<b>5.2兆円</b>	<b>5.8~6.4兆円</b>	<b>約5.9~6.5兆円</b>	<b>176.5~194.6兆円</b>

高速道路・鉄道・水道は含まない  
 ◆ 事後保全の場合は、254.4~284.6兆円  
 ◆ インフラ維持管理による社会負担を如何に減らすか？

一方、日本だけの問題かということではなく、アメリカは維持管理に関しては1980年代に「荒廃するアメリカ」ということで非常に大きな社会問題となりましたが、その後も落橋という大きな事故が生じています。最近だとイタリアで、あるいはカナダでも落橋が発生しており、維持管理が

いずれの国でも重要な問題になっています。それに対し、どのように対応するかということですが、アメリカではインフラ投資法案が少し前に議会を通りました。5年間で総額1兆ドル、約半分はインフラの近代化、維持管理に使われるということです。世界的な問題と認識して私たちは取り組まなければいけないということです。



**世界のインフラの状況**

**荒廃するアメリカ、1982年**  
 1980年代の「荒廃するアメリカ」

**イタリア：モランディ橋**  
 1967年建設、2018年8月落橋、43人死亡

**カナダ：デラコンコルド跨道橋**  
 1971年建設、2006年9月落橋、5人死亡

**アメリカ：ミネアポリス橋**  
 1967年建設、2007年8月落橋、13人死亡

**米インフラ投資法案(2021年11月5日)：5年間で総額約1兆ドル(半分がインフラの近代化)**

では、既存インフラの長期活用のための視点ということで私見を交えて話をさせていただきます。まず大学ですから基礎研究をしっかりとやる。そして、基礎的なデータ収集、それからインフラが劣化するメカニズムの理解、そのメカニズムを評価するような基本原理、さらにはそれに関連した基本的な手法を構築するのが非常に大事と思っています。要するに、実務に非常に近い研究もあるのですが、基礎的な部分をしっかりと研究する。その基礎的な知見をいろいろな方に使っていただき、実務的に応用してもらおうというコアの部分が、名古屋大学がやるべきことなのかと考えています。当然、名古屋大学自身でもいろいろな技術を開発することが望ましいのですが、そのときには維持管理費用を低減するという視点を必ず持たなければいけないと考えています。

また、N<sup>2</sup>U-BRIDGEの活動を行っているということで、地域ネットワークの核として、大学病院と同じような役割が土木系として求められるのではないのでしょうか。あるいは、そのような役割を果たしていかなければいけないと考えています。

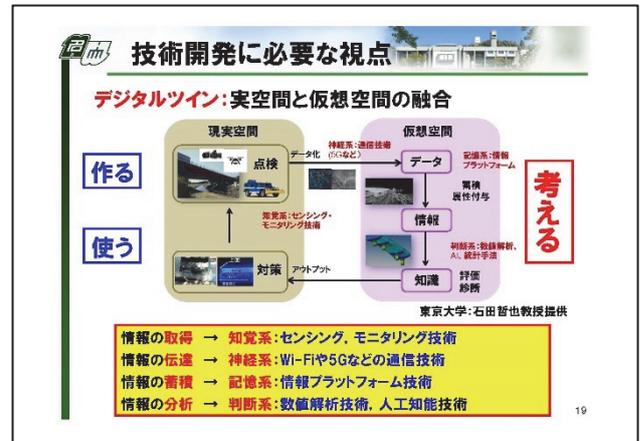
さらに、インフラのメンテナンスは技術的な側面だけでできるのではなく、実行すべき体制があって効果的に出来ますので、そのような体制づくりへの提言をする。あるいはインフラを長期活用するために、インフラのあり方や活用方法を土木教室全体で検討して発信できるのがよいと思っています。当然、これらのことは先ほど言ったような国際的な視点を踏まえる必要があります。

かということを確認しながら、この全体の枠組みを俯瞰することが私たちに求められていると考えています。

### 既存インフラの長期活用のための視点

- ◆材料劣化のメカニズム、既存インフラの高精度な劣化予測、既存インフラ(補強後も含め)の構造性能評価、に関する**基礎研究**(データ収集、メカニズム解明、基本原理確立、基礎的手法構築)
- ◆インフラの**維持管理費用を低減し**、効率的な維持管理が出来る技術を開発(点検、診断、補修・補強、更新の長寿命化技術)
- ◆**地域ネットワークの核**として、大学病院と同じような役割(研究の進展、人材育成、劣化診断・対策)の実行
- ◆インフラメンテナンスの**体制づくり**への提言
- ◆長期活用のための、インフラの**あり方・活用方法**の検討
- ◆**国際的な視点**を踏まえた上で、上記の活動を行う。

18



維持管理は非常に幅広い項目に関係するので、技術的な側面に限って話をさせていただきます。今後考えなければいけないこととして、情報化が進むということ、その情報技術をどのように使うかということがあります。実空間と仮想空間を融合するのがデジタルツインですが、インフラの維持管理はまさに悪くなったインフラがそこにあるという実空間の問題ですが、それを長期に使うことで仮想空間の中でどのようにインフラが変わっていくかを考えなければいけない。さらに仮想空間で考えたことを実空間に適用して、適切に維持管理をしていくということで、維持管理はデジタルツインが必要、あるいはデジタルツインに非常にマッチする分野と考えています。

ただ、このような情報化技術が進む中では、土木だけで閉じた世界は今後あり得ない。異分野と共同して新たな技術開発をしなければいけないと考えています。例えば、一つ私のほうで検討していることに、レーザー技術を使って打音検査を行うことがあります。建設コンサルの建設技術研究所とともに、レーザーを開発している量子科学技術開発機構などと共同研究をしています。これは加振用のレーザーを出し、ドップラー効果を使ったレーザー変位計で振動を計測することをトンネルで行っている例です。このような試みは土木以外の分野との連携が不可欠です。

その中では情報が一つキーワードになります。情報を扱うということは。ここに示す情報の取得、伝達、蓄積、分析という行為を行うことで、人で置き換えると知覚、神経、記憶、判断に対応します。それぞれに対し必要な技術があり、どのようなことを対象にして技術開発や研究をしているの

### 異分野との協働で新たな技術開発

#### レーザー技術の利用(判断系に使う知覚系情報)

「レーザー打音検査装置を用いた橋梁・トンネル等の道路構造物のつき・剥離の定量的データ化による診断技術の技術研究開発」  
名古屋大学、建設技術研究所、量子科学技術研究開発機構、フォンラボ、計測検査技術

写真-1.1 (a) レーザー打音検査装置(試作機)によるトンネル掘工面の計測の様子  
(b) 過去の点検で健全度 11と判定された箇所(S6-7, S6-8)の検査結果の表示例

それから、情報を扱うということでビッグデー

タという問題があります。インフラの劣化に係わる事象としては気象や交通などがあります。それらは作用ですが、それに対し、例えば交通車両を計測器として橋がどのように応答しているかを測ったり、その監視を GPS でやってもいいです。この場合、非常に多くのデータをインフラに関連して得ることができ、その活用を考える。これは構造系だけではなく、土木分野全体での横軸の展開が必要になるかと思えます。

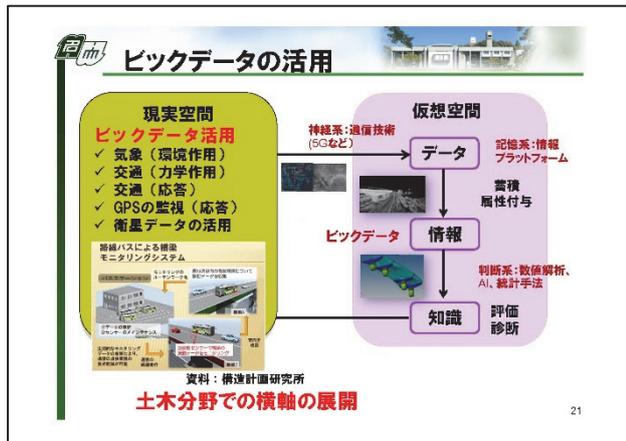
### 知覚系から記憶系・判断系へ

**3Dデータをどう活用するか**

- ✓ 判断での活用
- ✓ 管理者がデータの受け入れ・管理・活用システムを変えないと有効活用にはならない

作成協力:(株)橋修技術設計

22



情報が増えればいろいろなことが出来るようになります。これは N<sup>2</sup>U-BRIDGE の点群データを作成したもの、これは 3次元写真と点群データを組み合わせたもの、これは 3次元データからひび割れの幅を抽出したものです。このような技術がかなり進んで来ていますので、これらのデータをどう点検で活用するか、判断でどう利用するかを考える必要があります。なお、これらの情報を維持管理技術者や管理者が扱うときに、新しい技術を使いたいニーズをよく聞きますが、こういう膨大な技術を使えるようなシステムになっているのか。たぶんシステムを変えなければ有効には使えない。そのときに、名古屋大学がいろいろな提言をして協力するということが役割としてあると思えます。

今の例のような 3次元データが得られると、それをいかに研究に使えばよいかを考えます。大学の研究の多くの部分は、数値解析の開発あるいは応用をやっています。そのような部分をどんどん進めることで維持管理への適用が広がります。従来と違い、3次元データで構造物をありのままにモデル化すること、さらに時間や空間を超えて予測するような研究を進めていく。例えば、これは私の研究室で開発した手法で、この図は圧縮破壊の実験と解析結果ですが、このようにありのままにコンクリート構造物の解析が可能になりつつあります。

### 判断系の研究

**数値解析技術**

- ✓ 3Dデータで構造物をモデル化(現実空間の正確な再現)
- ✓ 仮想空間で任意の時間・作用・現象を扱う

解析理論  
 構造解析モデル  
 材料構成モデル

挙動をありのままに再現する解析技術

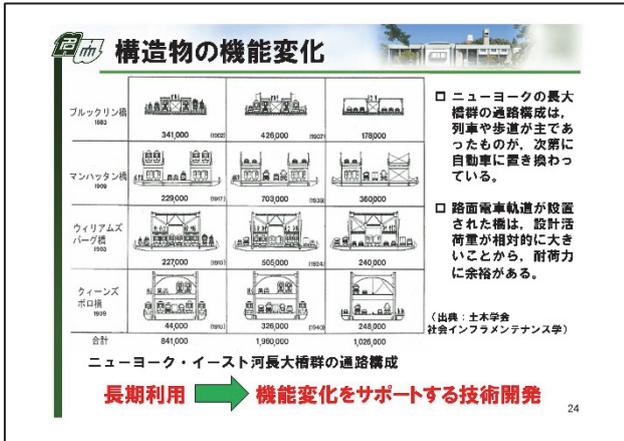
- ✓ mm~kmまでモデル化(寸法)
- ✓ 過大・過剰な作用の考慮(荷重軸)
- ✓ 時間変化の再現(時間軸)

圧縮破壊部評価  
 腐食ひび割れ評価  
 補強部材評価  
 火災爆裂解析

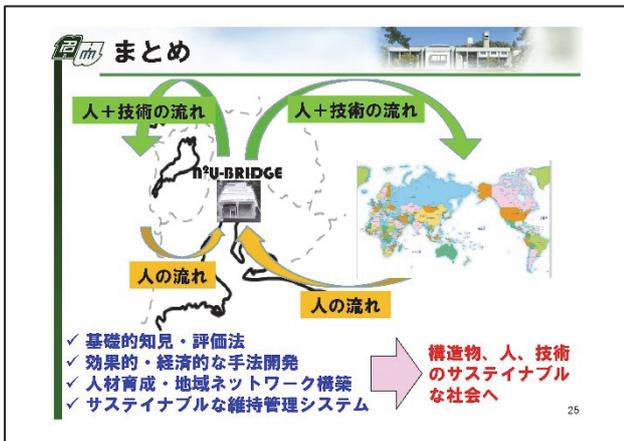
23

それから、忘れてはいけないのは、インフラは長く使わなければいけないですから、利用している間に機能が変化します。例えばアメリカの橋梁、ブルックリン橋は当初、鉄道で使われていたものが自動車道路に変わっていったということで、長

く使うことにより機能が変わっていく。その機能変化を技術でどのようにバックアップするかということも考えていかなければいけないと思います。



少し幅広い話をさせていただきましたが、大学は基礎研究をしっかりと行い、その知見を元に人と技術の流れを地域や世界に向かって作り、またその経験が戻ってきて新たな知見を生み出すようなサイクルを続けることで、社会貢献が出来ればと思います。ご清聴ありがとうございました。



## QOL 向上と SDGs 達成を両立できる地域のかたち

話題提供者：加藤博和

名古屋大学環境学研究科、附属持続的共発展教育研究センターの加藤です。私からは「QOL 向上と SDGs 達成を両立できる地域のかたち」という話をさせていただきます。よろしくお願いいたします。



私は土木系の教員で環境学研究科に所属しており色々なことをやっています。キーワードとしてはここに出ているように地球環境、脱炭素、巨大災害対応、地域公共交通、地方創生、臨床環境学、こういったことをやっています。これは余計かもしれませんが、ノーベル賞を取られた真鍋先生の手稿を校正したということで編者にさせていただき、この本が出ています。もし興味がある方はお読みいただければと思います。あくまでも私は校正しただけで、内容は書いていません。

私が土木工学を勉強したいと思ったきっかけを、この話をするために先に申し上げたいと思います。私は多治見市生まれですが、多治見は都市計画が全然駄目なところで、子どものときから、こういうまちではよくないのではないかと、もっと何とかしないとイケないのではないかと、思っていました。

### 私が土木工学を勉強したいと思ったきっかけ

生まれまち(岐阜県多治見市の都心部)は都市計画が全く進んでおらず、このままではダメだと思ったから

- ごちゃごちゃしたまち
- 道路網が未整備で、渋滞がひどい
- 商店街が衰退し、駅周辺整備も進まない

一方、小学校の頃、近くにある計画的な未来都市「ニュータウン」に憧れ、そんな街をつくりたいと思うようになった

そのため、高校時代は一貫して名大土木を志望。現役合格！  
…ただしそれから33年「卒業」できず！？

名古屋大学 加藤博和 2021/11/13

1

一方、近くに高蔵寺ニュータウンがあり、あるいは桃花台ニュータウンもあるということで、多治見との差の大きさですね。多治見の人間からすると未来都市に見えました。それで、こういうまちをつくる仕事をしたいと、高校時代に名古屋大学土木工学科にどうしても入りたと思って志望して、大変ありがたいことに合格させていただきました。ただ、大変恐縮ですが、それから33年ずっと卒業せず、51歳になってもここにあります。いさせていただいているので頑張らないといけません。

そういう憧れだった高蔵寺ニュータウンですが、確かに私が子どものころはとても人気があり、キラキラ輝いていた。しかし、今は建物が老朽化し、商業施設が全然ないとか、あるいは歩車分離というのは都市計画の中で重要なポイントを占めていたところですが、今となっては坂や階段が多く、年寄りには利用しにくい。公園がたくさんあり、子どもたちが遊んでいた。今はそこに人が全然いない。こういった、いわゆるオールドタウンになってしまっている感じです。

つまり、ニュータウンに特徴的な世代の偏りが急速な少子高齢化と若年の流出をもたらし、代わりに入ってくる人が少ないので人口がどんどん減っています。ただし、高蔵寺ニュータウンをつくる時に、そんなことはなかなか考えられなかったということだと思います。こういうことも踏まえ、これから長期、どういうまちづくりをしているといいかということが、私のような立場にあ

る人間が考えることだと思います。

**「未来都市」高蔵寺ニュータウン、今やオールドタウン？**

50・1・25 (分宅募集好評)

建物の老朽化・空家

賑わう近隣商業

衰退した近隣商業施設

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

**「未来都市」高蔵寺ニュータウン、今やオールドタウン？**

安心して歩ける歩車分離

坂・階段が多く、利用されない

ニュータウンに特徴的な世代の偏りが急速な少子高齢化と若年の流出をもたらす  
しかし、代わりの転入者は少ない  
→ 持続不可能？ 長期を見通すことは難しい

人通りが多く子供たちが遊ぶ姿

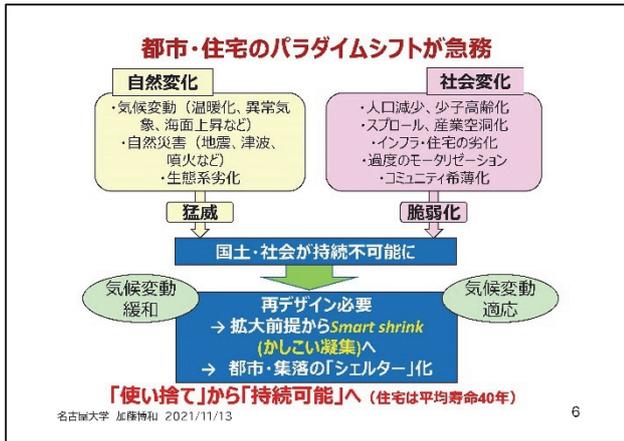
閑散としている (秋・土曜・日中)

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

それからもう1つあり、これは倉敷市の真備町の3年前の西日本豪雨の被害の様子です。私も直後に見に行きました。このとき衝撃的だったのは、これはよく出てくるものですが、左上、実際に浸水したところはこれです。右がハザードマップですが、もともと浸水すると分かっている、しかし、どんどん住宅を建てていいと都市計画的には市街化区域になっていて、住居地域になっている。



そういうことなので、それを信じてかどうか分からないのですが、安心して住んだ人もたくさんおられたのではないかと思います。特に若い方が家を買われた。水島工業地帯に通う方が多かったと聞いています。そういう方が家を建てたのに、水害でやられてしまった。こういう都市計画でいいのかということについて、非常に忸怩たるものがあります。こういうことをきちんと考え、どういところにまちをつくるべきかということに対するソリューションを出すのが大事な仕事だと思います。



そういう意味で、これからは気候変動でもっと自然が猛威を振るようになる、あるいは地震、津波、噴火、これはもともと日本ではあるわけで、一方で人口減少、スプロール化、インフラ・住宅の劣化、モータリゼーション、コミュニティ希薄化、こういった社会の脆弱化、この二つをそのまま放置しておけば、国土・社会が持続不可能になってしまう。

それを防ぐためには再デザインが必要で、よく言われているのですが、拡大はもうできないのでshrinkしていくのですが、Smart shrink、賢い凝集と言っています。あるいはそういった凝集するところについては、災害からきちんと守るようなシェルターにしていく。こういったことが必要です。

そして、そのためにも使い捨ての都市から持続可能な都市にしていかなければいけないことになります。

国交省では「国土のグランドデザイン 2050」において「コンパクト+ネットワーク」を出している。これは予想解と言えると思います。好きなところに住み、好き勝手に動くことを認める都市・地域は持続可能でない。だから、「コンパクト+ネットワーク」にならなければいけない。ということですが、私も社会資本整備審議会の臨時委員を今やっていますけれども、その中で私の専門になるところの低炭素であるとか、中部圏で重要な減災の視点が薄いことが分かっている、発言しているのですが、なかなか聞いてもらえません。

しかし、それはもう1つ理由があり、低炭素で減災にする都市構造は何なのかということの具体的な形をきちんと示せていない。科学的に、学術的に示せていないので、そうなっているところもあると思います。これを早くやって政策転換していかないと間に合わなくなってしまうので、いま頑張っているところです。



一方で、では、どのように都市計画や交通計画を評価するか。これは私が空間計画論という授業で教えているところで、費用便益分析を教えてください。しかし、本当に費用便益分析でいいのかというと、いろいろ問題があると思います。あと、環境影響評価もあります。こちらはやらないよりやったほうがいいのですが、やはりいろいろな問題がある。そういった貨幣評価あるいは加算評価ではないような方法が必要だと思っていて、今日は私がいま開発しようとしている Quality of Life や SDGs による評価をどうやってやったらいいか、ということの見通しをお話したいということです。

**都市計画・交通計画をどのように評価するか？**  
(学部2年「空間計画論」で講義)

- 費用便益評価(B/C)が主流
    - ✓利点:貨幣価値評価なので理解しやすく、多様な要因を合計・比較して評価可能
    - ✓欠点:貨幣価値に換算しづらい要因の扱い(例 温室効果物質は過小評価されやすい、生活の豊かさは妥当な評価が難しい、災害)
  - 環境影響評価(アセス)も併用
    - ✓利点:環境要素を「満たすべき条件」(他と加算しない)として扱える
    - ✓欠点:よりよい環境の創造を評価しづらい
- 貨幣評価や加算評価でない方法が必要では？  
→「QOL」と「SDGs」による評価へ

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

8

全体構造を言うと、都市は長期の安定、長期のSustainability、それから短期の回復、これは災害が起こったときの Resilience、この二つをきちんと見て、この二つがある程度の性能を発揮できるようにすることが大事です。例えば、私のやっている低炭素で言うと、実は何もしないでCO<sub>2</sub>削減すると、我慢するので平常時の QOL も低下してしまう。一方で気候変動になると、自然災害が激化すれば両方の QOL が下がってしまいます。

それを防ぐためにどうしたらいいかという、都市の空間構造を変えていかないといけない。ですから、目指すべき空間構造にどうやって到達するかということをはっきりと、そこに向かっていくための、例えば立地適正化計画や温対計画にインプットしていくための証拠づくりをしていくことが必要です。

**SustainabilityとResilienceによる空間構造評価**

- Sustainability : 長期の安定**

平常時・低費用・低環境負荷でのQOL確保

  - 経済機会(アビリティ)、快適性、安全安心性に基づくQOL評価(SDGsを意識)
  - 空間構造変更策は短期コスト増加・長期コスト削減
  - 災害はQOL各要素を弱くすりゃり要因として考慮

**Resilience : 短期の回復**

災害時・QOL低下抑制と早期回復(防災・減災)

  - 生命健康確保: 死亡・負傷・二次被害の発生と回復をQOL(DALY)評価
  - 生活環境確保: 生命保持～文化的・社会的な生活保持のどの段階にあるかをQOL(QALY)評価

CO<sub>2</sub>削減策によって平常時QOL低下  
気候変動によって巨大大自然災害が激化し両QOL低下

これらを両立するかどうかの観点から空間構造評価・改善策検討

目指すべき空間構造にどうやって到達するか？  
立地適正化計画や地球温暖化対策計画などにインプット

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

9

QOL とは何なのかということですが、QOL を

構成するいろいろな要素に価値観を表す重みをかけて全部足したものとしています。これだと加法的な評価ですが、それぞれの部分についても評価することができるようにもなっています。

**QOL値の定量化方法**

$$\text{生活環境質 QOL} = \text{LPs} \times \text{居住者の価値観を表す重み W}$$

(アンケート調査をもとにポイントの新で推定)

QOL向上要素 (Life Prospects)

交通利便性 AC : Accessibility	就業施設利便性 教育・文化施設利便性 健康・医療施設利便性 買物・サービス施設利便性	就業場所へのAC 高校へのAC 病院へのAC 大型小売店種へのAC
居住快適性 AM : Amenity	居住空間快適性 建物景観調和性 周辺自然環境性 局域環境負荷性	1人あたり居住延床面積 建物高さのばらつき 1人あたり緑地面積 交通騒音レベル
災害安全性 SS : Safety & Security	地震危険性 洪水危険性 犯罪危険性 交通事故危険性	

QOL値は「余命」で評価  
(それを得られるなら  
命がどれだけ削られてもよい)  
所得にかかわらず平等

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

10

それから、貨幣評価をしたくない。なぜなら貨幣評価をすると、お金持ちの方が、重みが高いことになってしまいます。命でしたら誰でも同じです。ですから、私は Quality of Life の値は余命で評価すべきだと考えていて、医療分野で使われている QOL は余命の評価になっているので、それとも整合しています。

この評価だとアンケートで重みを出すので、これは都心と中山間の差を表しているものですが、男女でどう違うか、世代でどう違うか、そういういろいろな価値観の違いも評価できます。

**都心/中山間住民の価値観(W)の推定結果**

松原市民を対象としたアンケート結果 (n=1122) をもとにコンジョイント分析

属性	性別	年齢	価値観 (W) の推定結果															
			AC	AM	SS	その他	AC	AM	SS	その他	AC	AM	SS	その他				
都心	男性	20代	2.642	0.341	0.029	0.006	0.019	1.840	1.018	0.273	1.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	女性	20代	2.524	0.281	0.026	0.005	0.018	1.792	0.982	0.261	1.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	男女	20代	2.574	0.311	0.026	0.005	0.018	1.816	0.992	0.262	1.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
中山間	男性	20代	2.344	0.246	0.021	0.002	0.016	1.670	0.871	0.900	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	女性	20代	2.029	0.199	0.022	0.002	0.015	1.592	0.782	0.891	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	男女	20代	2.187	0.223	0.022	0.002	0.016	1.631	0.836	0.896	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
中山間	男性	30代	2.024	0.196	0.020	0.002	0.015	1.588	0.779	0.887	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	女性	30代	1.834	0.181	0.019	0.002	0.014	1.497	0.740	0.881	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	男女	30代	1.929	0.188	0.020	0.002	0.015	1.543	0.760	0.884	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

名古屋大学 九條博和 2021/11/13

11

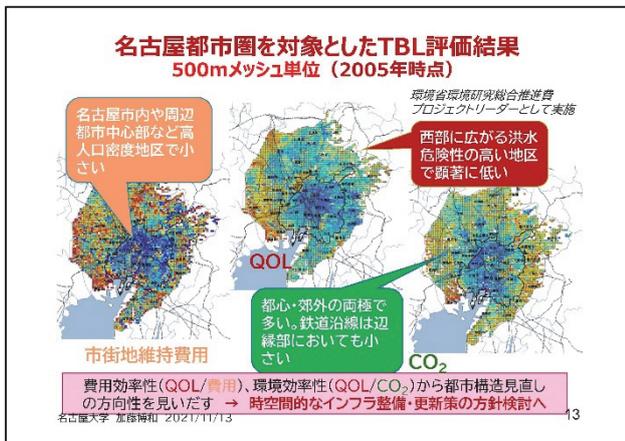
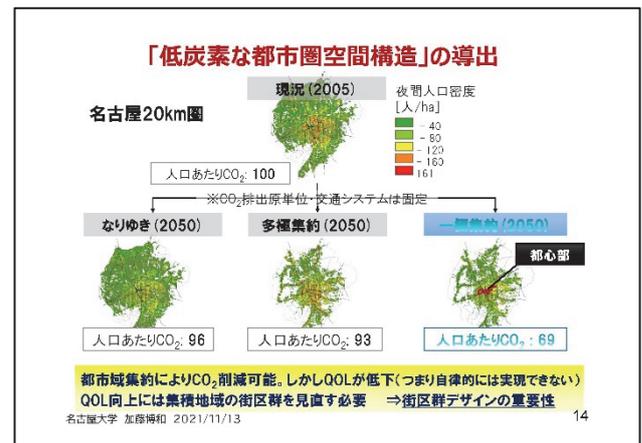
こういったものを使い、Quality of Life を向上

しながらコストを削減し、それから環境負荷も削減して低炭素にするという、環境・社会・経済の三つのボトムラインでチェックできるようなシステムをずっとつくってきた。

CO<sub>2</sub>が減るか、QOLが高くなるか、あるいはコストが下がるかという計算もできます。先ほども申しましたように、CO<sub>2</sub>を削減するとQOLも自動的に低下してしまいます。ですから、それを防ぐために、例えばこれは都心部の例ですが、どうやったらCO<sub>2</sub>を減らしながらQOLを下げないようなデザインができるかという検討もやっています。



これは名古屋都市圏でも評価していて、青いところがいいところ、赤いところが悪いところですが、名古屋都心部は結構よく、周辺部、特に西のほうが悪いというようなことが出ています。これも地元に出すと非常に怖いデータになるのですが、このように出たから、皆さんどう考えるかということをしちんと見せ、そこから議論できると思います。私もいろいろな懇談会に出ることがありますが、深呼吸してから、これを出し、見ていただいて議論するようにしています。



それから、このツールを使うと現状に比べ、2050年に向かって集約していくとどのくらい

これはパッと見せるだけですが、空間デザイン、旅客交通、物流、エネルギー、建築、いろいろな部分で見直しをする。これは2050年までにやっていけばいいので、だんだんと変えていくことでQuality of Lifeも下げず、コストも下げ、CO<sub>2</sub>を減らすことができるようなソリューションを見せることができる。全体で7割ぐらい削減できるとか、QOLを上げることができる、費用は下げることができる。こういう計算も全部できるように

しました。

### 施策パッケージ S：空間デザイン

**S-1：用途ゾーニングと住宅増加**  
地域のまちづくり方針に対応したゾーニングへ

**S-2：共同更新（ミニ再開発）による建物再配置・大型化**

**S-3：オープンスペース確保・集約、会所復活**

低層階を商業、中高層階を住宅とする複合エリア計画的会所を整備（5-6階建）

業務商業中心の高容積エリア（10階建）

計画的会所

商業・業務中心の高容積共同更新による大型化（8-9階建）

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

### 施策パッケージ E：エネルギー + A：建築

**E：エネルギーシステム**

- E-1：地域内熱・電力融通システム
- E-2：スマートリサイクルシステム

**A：建築システム**

- A-1：高断熱性住宅・建築の供給
- A-2：コージェネレーション・太陽光発電導入

地域の熱・電力のネットワーク化とリサイクル拠点の併設 → 地区全体でエネルギー利用可能

太陽光発電  
燃料電池

断熱性向上

ソーニング → 太陽光発電電量UP  
用途混在 → 燃料電池発電電量UP

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

### 施策パッケージ T：旅客交通

**T-1：歩道・自転車道、滞留空間の拡幅整備**  
駐車スペースを歩道や自転車道、滞留空間へ転換 → 徒歩・自転車利用の促進へ

**T-2：電気自動車シェアシステム導入**  
カーシェアリングシステムの普及・導入により → 公共交通利用の促進とオープンスペース確保（前頁）

カーシェア導入により集約した空地を、駐車場ではなくオープンスペースとして活用

交通構成分比率変化（トリップ数ベース）

徒歩・自転車5%増  
※2020年デザイン案適用

物流用の駐車スペースを歩道、自転車道、滞留空間へ転用

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

### 低炭素街区群デザイン実施による QOL（生活の質）・維持費用への影響

各施策を複合的に導入することで低炭素化とともに大きな改善効果

**QOL指標値（day/year）**

すべての施策導入

建築システムのみ

2010年比 25%減

すべての施策導入

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

### 施策パッケージ L：物流

**L-1：共同配送拠点整備、グリーン配送**

商業・業務地域が多く物流による環境負荷が大きい

共同配送拠点を整備地区内配送は自転車・台車に対応

【配送方式】拠点を整備し、地区内配送は台車・自転車対応

【空間デザイン】商業業務を下層に集中し、エレベーター利用削減

物流によるエレベーター利用を削減

商業・業務

不要となる駐車スペースを自転車道・歩道へ

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

### 低炭素街区群デザイン実施による CO<sub>2</sub>削減

1人あたりCO<sub>2</sub>排出量（t-CO<sub>2</sub>/人）

A：建築 -24%

T：交通 -9%

L：物流 -16%

S：空間デザイン -10%

E：エネルギー 6%

・施策の積み重ね・複合効果で67%削減が可能

・空間デザインは、他施策との相乗効果が大きい

名古屋大学 九条博和 2021/11/13

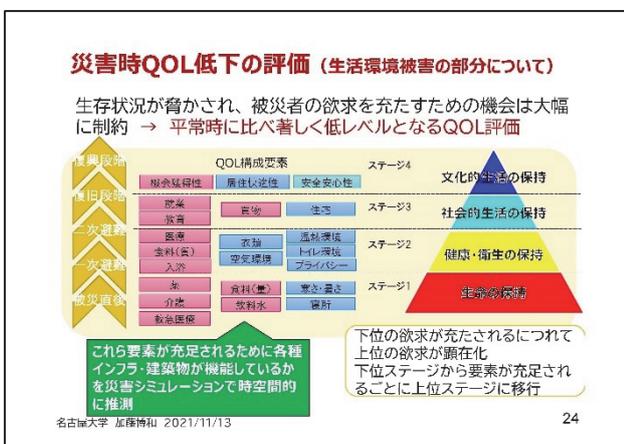
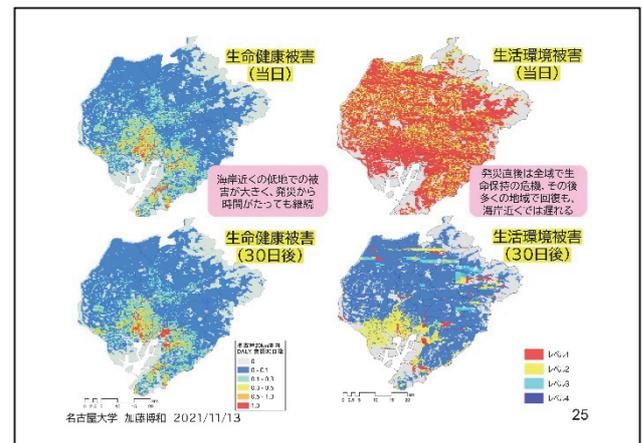
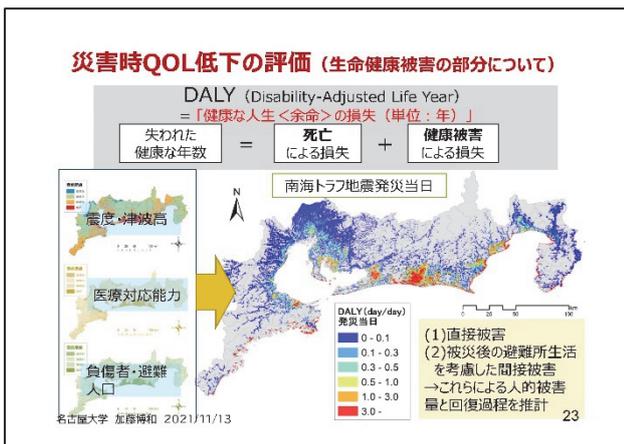
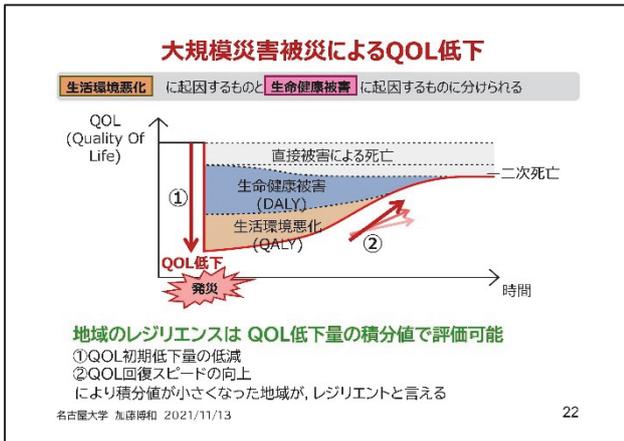
平常時の QOL を重視しすぎると災害時の QOL が下がってしまう。災害のときは、平常の QOL が一気に生命が脅かされるところまで低下します。そこから戻るといっていますが、ここでインフラをきちっとつくっておけば、死んでしまうとか、けがをするという被害、それから生活環境が一時的に非常に悪くなる被害も防ぐことができる。

この下がった値の積分値がレジリエンスの小さ

さの値だと私は考えています。これを使えば、災害時の QOL の低下あるいは回復の評価もできます。そういう意味で生命健康被害の評価、あるいは生活環境被害の評価について計算できる方法をつくりました。

高い QOL になっているものが、災害になると命が脅かされるほどまでに落ちる。この命が脅かされるというのはけがをするだけではなく、水道が出ないとか、寒さを防げない、薬がないとか、そういったレベルの評価です。

こういうものが、インフラが破壊されたことにより下がるとか、そういったことから計算できる方法をつくり、これは名古屋周辺部において、生命健康被害、生活環境被害が災害の当日、どのくらい下がるか。右だと、これは真っ赤です。生活環境被害については最低限まで落ち込む。その後、30 日後になると生活環境被害はかなり上がってくるのだけれども、生命健康被害は臨海部では下がったまま。つまり、津波等、災害への対応をしておかないと、こういう状況になってしまうのが現状だと明らかにされます。

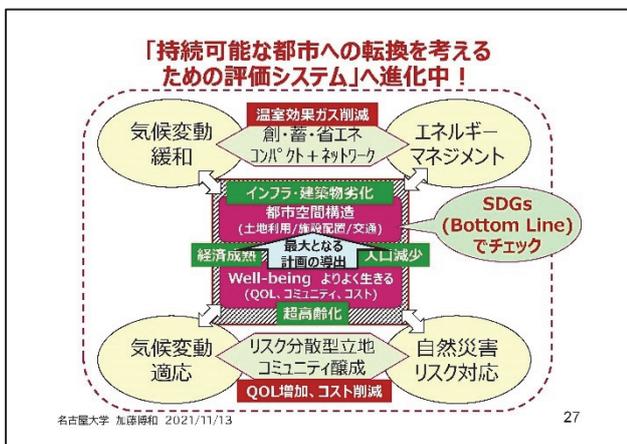
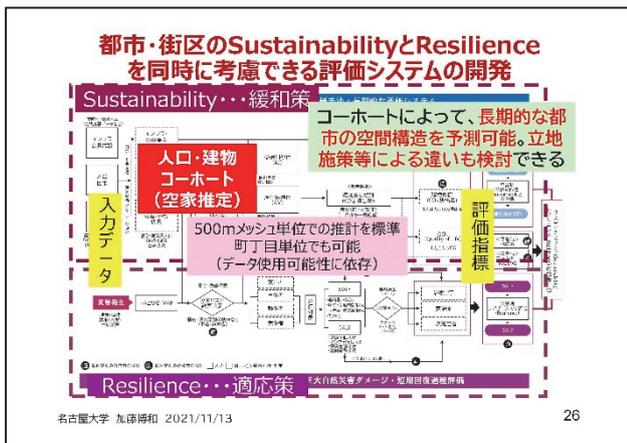


こういったものを全部組み込み、さらに将来予測ができる。2050 年までのコホートモデルをつくり、将来の空間構造を予測する。これができると、空間構造の変化により将来の Well-being がどうなるか。QOL、コミュニティ、コスト、この変化を予測でき、それらが気候変動の緩和や適応、あるいは自然災害リスクへの対応、エネルギーへの対応、こういったことから、どのようにコントロールされるべきか。

これはいろいろな脅威があります。そういったことにも対応しながら、全体としてよりよくなる

この生活環境被害の評価は、日ごろだと非常に

ような都市空間構造を導出するという計算ができるようになります。



ここにSDGsはまだ入っていないのですが、さらにこれをSDGsでチェックするような方法もつくっています。SDGsはこの17が有名ですが、実は細かくは169の項目があります。これらについてボトムライン、つまり最低限クリアしなければいけないというチェックリストがSDGsになるのですが、都市空間構造については今のところは11の都市の部分を見細かく見て、あと11を除き、1から17までの16個については粗く見るようなチェックリストがつくってあります。これらの値を先ほどのシステムから推計する手法について、いま開発しているので、これができると、先ほどのシステムでSDGsターゲットの達成についても検討することができるようになります。

こういったことをやりながら、技術革新や意識

改革だけで持続可能な都市は実現不可能であり、都市・地域の空間構造を変更する、まさに土木がやる仕事です。これをきちんとやっていくことが必須である。そのためにも三つの脅威、気候変動、エネルギー供給の危機、巨大自然災害、これらは全部別個に検討してきたのですが、今回のモデルで全てを一緒に評価でき、それに対し、しなやかに対応できるような都市の空間構造を出すことができる。

- Bottom line(底辺、基本となる場所、結算)
- すなわち、持続可能な社会にするためには「2030年までにこのくらいやれていないとダメ」という最低水準の集合体
- それが17分類、169項目ある

**都市空間構造のSDGsチェックリスト(案)**

SDGs	名	説明	SDGs	名	説明
1	貧困	持続可能な開発目標「SDGs」の第1目標。貧困をなくすこと。	1	貧困	持続可能な開発目標「SDGs」の第1目標。貧困をなくすこと。
2	飢餓	持続可能な開発目標「SDGs」の第2目標。飢餓をなくし、食料・栄養・安全な水へのアクセスを確保すること。	2	飢餓	持続可能な開発目標「SDGs」の第2目標。飢餓をなくし、食料・栄養・安全な水へのアクセスを確保すること。
3	健康と長寿	持続可能な開発目標「SDGs」の第3目標。健康と長寿を促進すること。	3	健康と長寿	持続可能な開発目標「SDGs」の第3目標。健康と長寿を促進すること。
4	質の高い教育	持続可能な開発目標「SDGs」の第4目標。質の高い教育をすべての人々に提供すること。	4	質の高い教育	持続可能な開発目標「SDGs」の第4目標。質の高い教育をすべての人々に提供すること。
5	ジェンダー平等	持続可能な開発目標「SDGs」の第5目標。ジェンダー平等を達成すること。	5	ジェンダー平等	持続可能な開発目標「SDGs」の第5目標。ジェンダー平等を達成すること。
6	きれいな水	持続可能な開発目標「SDGs」の第6目標。きれいな水と衛生を確保すること。	6	きれいな水	持続可能な開発目標「SDGs」の第6目標。きれいな水と衛生を確保すること。
7	エネルギー	持続可能な開発目標「SDGs」の第7目標。エネルギーを安全かつ持続可能に提供すること。	7	エネルギー	持続可能な開発目標「SDGs」の第7目標。エネルギーを安全かつ持続可能に提供すること。
8	働きがい	持続可能な開発目標「SDGs」の第8目標。働きがいと経済成長を促進すること。	8	働きがい	持続可能な開発目標「SDGs」の第8目標。働きがいと経済成長を促進すること。
9	産業・イノベーション	持続可能な開発目標「SDGs」の第9目標。産業・イノベーションを促進すること。	9	産業・イノベーション	持続可能な開発目標「SDGs」の第9目標。産業・イノベーションを促進すること。
10	公平な社会	持続可能な開発目標「SDGs」の第10目標。公平な社会を構築すること。	10	公平な社会	持続可能な開発目標「SDGs」の第10目標。公平な社会を構築すること。
11	住み続けられるまちづくり	持続可能な開発目標「SDGs」の第11目標。住み続けられるまちづくりを推進すること。	11	住み続けられるまちづくり	持続可能な開発目標「SDGs」の第11目標。住み続けられるまちづくりを推進すること。
12	持続可能な消費と生産	持続可能な開発目標「SDGs」の第12目標。持続可能な消費と生産を推進すること。	12	持続可能な消費と生産	持続可能な開発目標「SDGs」の第12目標。持続可能な消費と生産を推進すること。
13	気候変動への対応	持続可能な開発目標「SDGs」の第13目標。気候変動への対応を推進すること。	13	気候変動への対応	持続可能な開発目標「SDGs」の第13目標。気候変動への対応を推進すること。
14	海の豊かさ	持続可能な開発目標「SDGs」の第14目標。海の豊かさを確保すること。	14	海の豊かさ	持続可能な開発目標「SDGs」の第14目標。海の豊かさを確保すること。
15	陸の豊かさ	持続可能な開発目標「SDGs」の第15目標。陸の豊かさを確保すること。	15	陸の豊かさ	持続可能な開発目標「SDGs」の第15目標。陸の豊かさを確保すること。
16	平和と公正	持続可能な開発目標「SDGs」の第16目標。平和と公正を推進すること。	16	平和と公正	持続可能な開発目標「SDGs」の第16目標。平和と公正を推進すること。
17	パートナーシップ	持続可能な開発目標「SDGs」の第17目標。パートナーシップを推進すること。	17	パートナーシップ	持続可能な開発目標「SDGs」の第17目標。パートナーシップを推進すること。

これらの値を先ほどのシステムから推計する手法を開発中 → SDGsターゲット達成を定量的に検討可能に

さらに、環境負荷・ライフサイクルコスト投入で得られる健やかで幸せ（健幸）、いわゆるQOLが高くなる。さらに、SDGも達成しているような空間構造を有する都市を中長期で漸次実現する戦略を地域主体で立案・実施するための支援ツールを構築し、これにより目指すべき地域の「かたち」を地域の皆さんと一緒に出せることをやっていきたい。これを都市に関するさまざまな

施策について評価することで、さらによいものに  
し、中部圏で実現し、未来の地域の皆さまに「い  
いまち」を残していけるように貢献していきたい。  
これが私の思いです。  
以上です。どうもありがとうございました。

**「再生可能都市」実現に向けて**

『技術革新や意識改革だけで  
持続可能な都市は実現不可能！  
都市・地域の空間構造を変更することが必須！』

- 3つの脅威(「気候変動」「エネルギー供給危機」「巨大自然災害」:従来は別個に検討)にしなやかに対応できる(危機に瀕しても持ちこたえ再生していける)
- 2つの性能(環境負荷・ライフサイクルコスト投入で得られる「健幸<QOL>」)が高くなる(SDGsターゲット達成が大前提)ような空間構造を有する都市

↓

- 中長期(建物・インフラ更新過程)で漸次(「一挙」ではなく「だんだんと」)実現する戦略を地域主体で立案・実施するための支援ツール構築<目指すべき地域の「かたち」を出せるように>

**都市に関する様々な施策を評価し、中部圏で実現し、  
未来の皆さんに「いまち」を残していきたい！**

名古屋大学 九條隆和 2021/11/13 30



名古屋大学



名古屋大学大学院環境学研究科附属  
持続的共済展教育研究センター

加藤博和 検索

<http://orient.genv.nagoya-u.ac.jp/kato/Jkato.htm>

質問・相談等はE-Mailで  
E-Mail: [kato@genv.nagoya-u.ac.jp](mailto:kato@genv.nagoya-u.ac.jp)  
facebook: buskato

**"Think Globally, Act Locally"**

交通・都市施策の環境負荷をライフサイクルアセスメントによって明らかにし、CO<sub>2</sub>削減とQOL向上・費用低減を両立するソリューションを追求する一方、地域の現場でよりよい交通とまちをスロテュースする仕事にも取り組んでいます

**加藤博和**  
名古屋大学大学院環境学研究科  
附属持続的共済展教育研究センター  
臨床環境学コンサルティングファーム部門 教授

「人にも地球にもやさしい  
"sustainable"から"resilient"を  
交通・都市システムを実現する」

<テーマ>  
 ✓交通政策が地球環境や都市環境に及ぼす影響の評価手法  
 ✓脱炭素で巨大災害にも対応できる交通体系・都市構造  
 ✓地域公共交通活性化・再生の方法論  
 ✓地方創生を可能とする都市・地域経営のあり方  
 ✓臨床環境学の創成  
 → 固定観念にとらわれず新たなパラダイムを切り開き、臆せず現場に出て、  
 実際の世の中を変えることで、閉塞した社会状況を打破する！  
 ※全国100近い市町村で公共交通政策をサポート  
 国土交通省交通政策審議会委員として交通政策基本計画(2021)や  
 改正地域公共交通活性化再生法等(2020)の検討に携わる



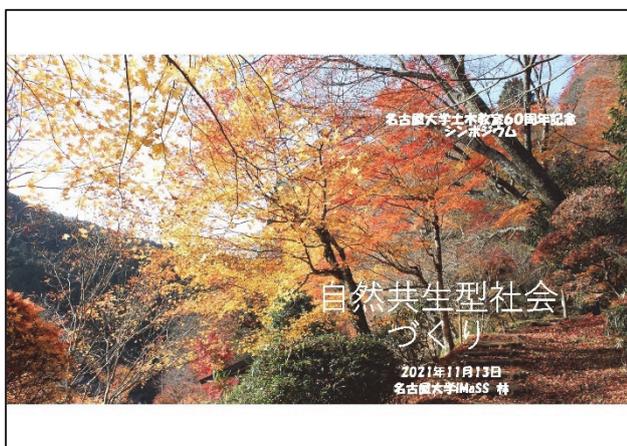
名古屋大学 加藤博和 2021/11/13 32

## 自然環境共生型社会づくり

話題提供者：林希一郎

名古屋大学未来材料・システム研究所に所属している林です。どうぞよろしくお願ひします。

本日、私のほうでは、各先生にいろいろ話題提供いただいている中で、特に自然と共生した社会をどのようにつくっていくか、またはそういったものがいかに大切なのかについてお話しさせていただきたいと思っています。



### 内容

- 中部の自然
- 生態系サービス
- 生態系サービスの需給
- 生態系サービスの可視化
- エネルギー・環境分野の可視化の応用

個人的には結構気に入っている写真でして、豊田市の山のほうで撮ったものです。このように自然はすごく豊かです。自然に触れることにより、人々はある意味、何かの便益を得たりとか、そのような経験があると思います。今日、こういった中身について話題提供させていただきたいと思ひます。

名大土木の環境系というところに所属しています。次のセッションでご発表になる先生もおられますが、環境を題材に環境工学、環境システム工学、環境経済学、環境物質学等を専門とする各先生が所属していて、いろいろな環境分野の研究をされています。

### 名大土木 環境系

SDGs6(水・衛生)、7(エネルギー)、11(都市)、12(生産・消費)、13(気候変動)、14(海洋資源)、15(陸上資源)

- 片山新太教授：微生物生態工学、環境工学
- 林希一郎教授：エネルギー・環境影響評価、生態系サービス評価
- 谷川寛樹教授：環境システム工学
- 日比野高士教授：環境物質学
- 白川博章准教授：環境経済学
- 平山修久准教授：衛生工学
- 岩松将一准教授：環境物質学
- ジンチェンコ・アナトリー准教授：環境物質学

その中で、私は自然から得る便益をどうやって見ていくのかというようなことを中心に研究させていただいています。SDGs、先ほど加藤先生からも話が出ましたけれども、環境系に関係するものはかなりたくさんあるのですが、今日は SDGs の 17 の目標の中の 15 に関連する話題を提供させていただきたいと思ひます。

私もいろいろな中部地域の自然を見に行ったりすることが多いのですが、この写真も中部地域の某地域で撮った巨大な木の写真です。

中部地域の自然でいろいろきれいな水が供給されています。これも自然が持っている機能として供給されているものです。

この写真は、名古屋大学のキャンパスです。都市部ということもあり、住宅地に囲まれているのですが、緑も残っている様子が分かるかと思ひます。緑の中を少し見てみると、こんな感じになっています。

1955 年の土地利用を見ると、名古屋市は都市部、市街地はわずかにしかなく、あとは田んぼとか畑とか、皆伐された森林とかがかなり領域を占めていたことになります。



一方、2010年頃の土地利用（例えば、JAXAの高解像度土地利用土地被覆図）を見ると、市街地が名古屋市内のほぼ全域およびその周辺地域に拡大している様子が分かります。緑と言われているような森林等、水田、田んぼなどの自然環境が大きく減ってきています。この期間の都市化が相当な勢いで進んでいたことを示しています。

自然が無くなったということで、われわれは自然とあまり接点がないと考えがちですが、実は生態系サービスという言葉があります。これはご存じの方も結構おられると思います。自然から我々が得ている便益とか福利という言い方をします。例えば、ここに刺し身が載っています。これは自然からの産物を人間が得ていることになります。木材とか、きれいな空気、きれいな水、そういったものは自然が提供しているものを間接的にとか、あまり意識しないで使っていることになります。

**生物多様性が私たちにもたらす恵み**

- 生態系サービス
  - 食糧がとれること
  - 木材を切り出して机や家がつくれること
  - 森林がCO2を吸収・固定してくれること
  - 上流部の森林が綺麗な水を提供してくれること
  - など

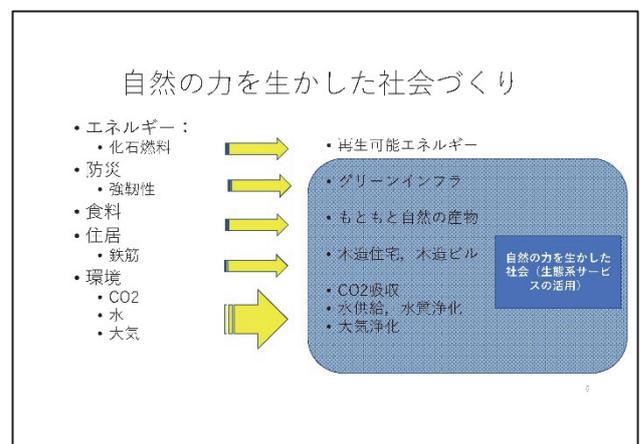
私たちの生活と生物多様性の関係を生態系サービスを流してみると仕組みやすい

自然が存在しないと、こういったものは提供されないことになってしまいます。無くなった時に困る状況に気が付くのですが、現状では少しずつ自然が減っている関係もあり、なかなか強く意識することは少ないです。しかし、最近少しずつこういったものが減ってきているのが問題になっています。

人間が使っているもの、社会と関係がある自然との部分を生態系サービスという概念で整理すると、自然側と人間側がどういう関わりを持っているかが理解しやすいことになります。

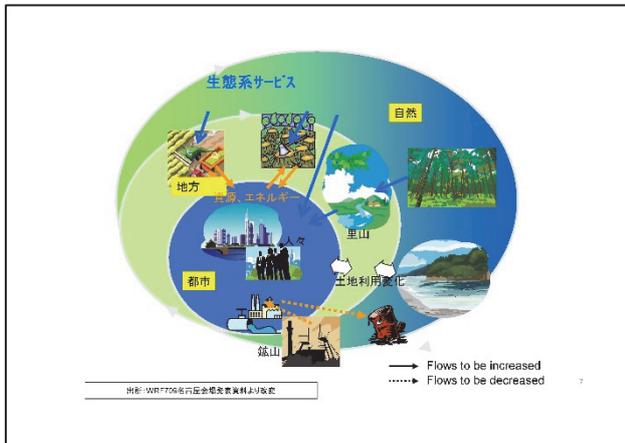
自然の力を生かした社会づくりで、社会の中でいろいろな人間が使っているものがあるのですが、その多くが生態系サービスの概念の一部であったり、そういったもので供給されています。

自然が提供している再生可能エネルギーとか、これは生態系サービスに含めていませんが、それ以外の自然が人間社会に提供しているものを適切に評価し、それをどうやって保全しつつ生かしていくか、そういったことが私の研究の対象になっています。



都市部の中であつてつくられている生態系サービスもあることはあるのですが、多くのものはその周辺であつてつくられています。生態系サービスの恩恵を、都市部に住んでいる方々が都市で受けることになっています。周辺の里山地域のようなところから、もしくは自然の奥山とか、そういったところで供

給されている生態系サービスを人間社会の中で使いつつ、ごみを出している構造です。これは、都市の外側を保全していかないと、いずれ成り立たなくなるシステムです。



実は国内だけの話ではなく、日本は輸入しているものが多いのですが、食べ物も含め、そういったものは世界各国の自然や生態系サービスを輸入することになります。世界の自然の減少は世界の生態系サービスの減少であり、われわれの生活にも直に関係しています。そういう意味で、この問題はみんなで広く考える必要があることとなります。

### 世界の自然・生態系サービスに依存

- 世界各地から食糧などを輸入
- 世界各地の生態系サービスを輸入
- 世界の自然の減少は世界の生態系サービスの減少であり、世界のの人に影響をおよぼす

日本の場合は、ここでは森林を特に取り上げていますが、人工林の問題や里山林の問題とか、特に森林減少のところもそうですけれども、森林管理の不足などが大きな問題になっています。

自然を保全しているのは山奥の人だったり、山側にある土地所有者だったり、地域だったり、そういった人々です。そういうものから供給される便益や生態系サービスを主に消費するのは都市部の人々です。そういう費用負担と便益の構造のアンバランスを何とかすることを考える一つの方法論として、生態系サービス支払い (PES) という考え方があります。

### 森林管理の課題

- 森林率<sup>1)</sup>: 67%, うち人工林率 41%
- 林業分野: 管理不足
  - 課題1: 人工林の管理不足\*2
    - 労力の不足 → 4. 土地としての質の劣化
  - 課題2: 里山林の管理不足(農業、保林地、開放地の混在した場所)
    - 多様な生態系サービスの源泉(災害防除、土壌流出他)
- 森林管理の必要性
  - 人口減少、高齢化、輸入材増加 ⇒ 林業の衰退、利用不足、管理不足

1) Forestry Agency of Japan, "Current Status of Forests in Japan" (2012). 2) Forestry Agency of Japan, "Current Status of Forests in Japan" (2012).

都市部の住民が、生態系サービスを提供してくれる山側の人々の自然保全活動とかの費用負担をしていくということです。一つの例としては愛知県豊田市で実施されているような水道料金課金があります。課金の一部を森林保全のために使うのです。端的なPESの事例ではないのですが、森林環境税のようなものは高知県をはじめとして愛知県等でも導入されており、その税収の一部を森林管理等に使っています。

### 生態系サービス支払い(PES)の例

費用負担: 地域、土地所有者  
受益者: ESによるが、都市

**愛知県豊田市**

- 水道料金使用量あたり1リを上乘せ
- 取入は森林保全等のために新用

1JY/m<sup>3</sup>

水道料金 (81-311JY/m<sup>3</sup>+basic cost)

**森林環境税**

- 地方税、市民一人当たり等の税
- 税収を森林管理等に活用
- Eg. 愛知県(2009), etc.

このような費用負担構造と受益者のアンバランスを是正するための措置が政策的に重要です。ただ、ここで問題になってくるのは誰が費用負担、誰が受益者かがあまりクリアではないということです。

愛知県の山側の少し管理されていない森林を、間伐をして森林管理をすることになります。この木を切ることにより、日が入るようになります。それにより、森林管理を適切にしていくことになります。かなりの重労働ですが、こういうものが必要とされているのが現状の日本であります。

一方で、これは豊田市の例ですが、中心部と山側の関係を示しています。これは矢作川です。山側の人口が非常に少ないです。山側には自然が多く、森林が多いということで、生態系サービスが供給されているのは山側になります。それを使っているのは都市部で、人が多いことになります。こういった受益側と生態系サービスを供給している側の関係を理解することが重要です。自然環境保全のための取り組みを、都市部が費用負担して、フィードバックして使う。そういうものがPESと言われる生態系サービス支払いです。この需給関係をクリアにマップしていくことが非常に大切ということになります。

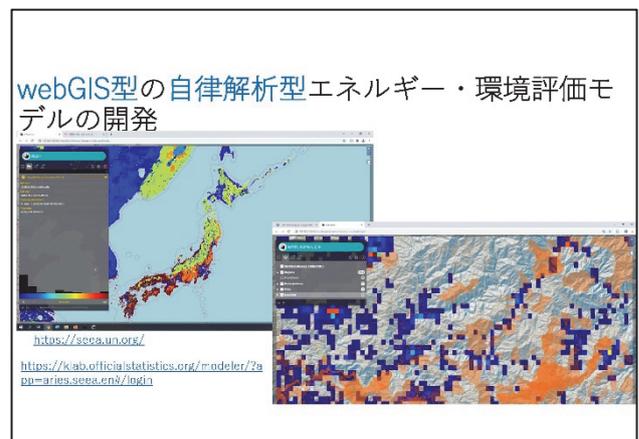
矢作川の上流部に供給されている水の受益者と供給エリアの関係を少し簡単に、分かりやすくすると、矢作川の流域に沿って受益者が結構大きく分布していて、流域から外れてくると受益構造は小さくなります。ただ一方で、このエリアで供給されているCO<sub>2</sub>を吸収する機能は、比較的広いエリアにわたっています。生態系サービスの種類により受益構造は異なることになります。政策を考えるときには、この辺を少し考えておく必要があると言えるかと思えます。

このように生態系サービスをマッピングしていくのは非常に大切なことで、その辺を研究として進めているところです。生態系サービスの供給と需要・受益の状況を把握するのが適切な対策には

必要です。そのため、生態系サービスのフローの可視化・マッピングは有用なツールです。このツールはいろいろな分野に応用可能なものであると言えるかと思えます。



これはいま現在進めているスペインの研究機関（BC3）と一緒にやっているプロジェクトの紹介的なスライドですが、ARIES というもので、日本では東京農大、阪大、中部大等のメンバーと一緒にやっています。これはセマンテックとオントロジーというAIの一種のような概念を使い、生態系サービスのグローバルな評価をWeb-GIS型の自律的なシステムで行うものです。データや各種モデルを統合するようなものです。グローバルモデルなので、日本全体を含め、ほかの国も評価できるようなモデルになっています。



ARIES for SEEA Explore は、国連の環境経済会

計システムの一つのツールに位置付けられています。土地利用の変化や生態系サービスの変化を経年的に評価していくようなツールです。これはポリネーションのサービスとか、これは炭素ストックとか、いくつかの生態系サービスについて、評価をするというシステムです。

現在、いろいろな生態系サービスの評価ができるようになっていて、日本モデルと世界モデルと両方整備しつつあります。全てができるわけではないのですが、人間が自然から使っている便益のようなものを空間的に評価していく仕組みを開発しています

**ARIESグローバルモデルと日本モデル**  
 (オレンジは開発中、青ハットは現在マップ)

- 炭素ストック: G-carbon, J-Carbon stock
- 微気候調整: J-Forest volume, J-LST
- 大気汚染抑制: J-NO2, J-SO2, etc.
- 洪水緩和: G-flood regulation, J-Flood Lulation area
- 花粉媒介: G-pollination
- 土砂災害抑制: G-landside, G-sediment, J-Sediment Disaster hazard area
- バイオマス供給: G-Biomass(Maize crop, wood), J-crop model, J-tree biomass
- 水供給: G-water(under development)
- 文化的ESs: G-Recreation, National park, Nature conservation area, Wildlife area, Local tourism resources, Urban park

それ以外に、こういうシステムは、再生可能エネルギーのポテンシャルを見たり、災害・環境リスクをマップ化したり、そういったものにも使うことができます。将来的には環境アセスメントにも使うようなことを想定しています。

**エネルギー・環境評価モデルへの応用**

- PES (生態系サービス支払い) の空間関係マップ
- 再生可能エネルギーポテンシャルマップ
  - 小水力発電、地熱発電、バイオマス、太陽光etc.
  - 再生可能エネルギーのベストミックスの空間システム分析
- 災害・環境リスクマップ
- エネルギー・環境データマップ
- 簡易型環境アセス、戦略的環境アセスメント

ポテンシャルマップとして、これは矢作川上流域の小水力発電の適地選定モデルの様子ですが、いろいろな災害リスクのようなものを考慮し、人口分布を考慮して、最終的にこの辺りに設置すれば、どのくらい発電量が期待できるかというようなものを推計するものです。



この空間評価の広範な活用可能性ということで、データを蓄積、共有、モデルを蓄積、モデル間連携とかを行います。単にGISを使って研究者がやっているのではなく、Google Chrome 上で動かせて、エンドユーザーが使いやすくするところまで単純化して一部公開されています。そういうことにより、政策などにも利用しやすいようなシステムになってきています。まだ全てが終わっているわけではなく、徐々に改善されているものではありません。

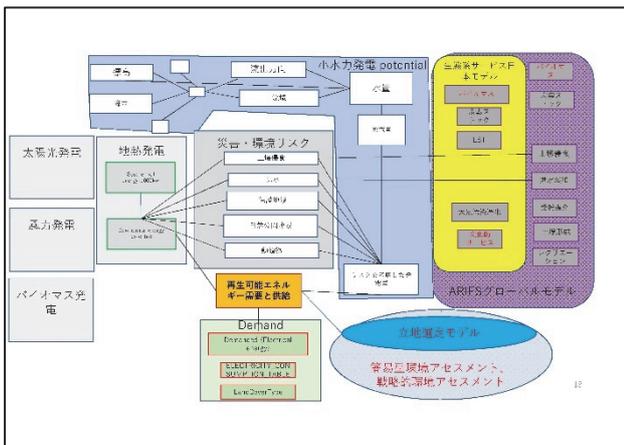
**空間評価の広範な活用可能性**

セマンテックとオントロジーを用いたAIによるグローバル生態系サービス評価

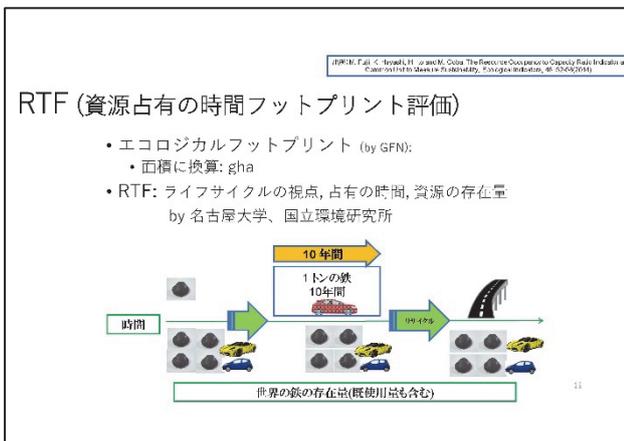
- データの蓄積、共有化、モデルの蓄積、共有化
- モデル間の連携 (同分野)
  - 例: 様々な炭素ストック推計モデル
- モデル間の連携 (異分野)
  - 例: 炭素ストック、土壌流出、水文
- 政策への応用

最終的にはいろいろな生態系サービスやいろいろな再生可能エネルギーを総合的に評価し、需要等を総合的に勘案して、それを統合的モデルとして評価することを考えています。

このシステムは、現状は2次元評価です。中村先生の3Dの話もありましたけれども、ドローンなどやライダーのデータを使って3Dの評価をした結果もうまく入れ込んでモデルをつくるようなことも少し進めています。



最後に、今日は時間がないのであまり触れなかったのですが、それをどういう指標で評価するかということについて、LCAとかエコロジカルフットプリントなどを応用した資源占有の時間フットプリントといった指標を国立環境研究所と一緒に開発しています。そういったものを使いながら適切に評価するようなことを進めています。



まとめとして、中部地域は自然が豊かで、自然を生かした社会のポテンシャルが非常に高い。多くの再生可能エネルギーのポテンシャル、生態系サービスのポテンシャルがある。特に生態系サービスの需給の関係がかなりクリアである。こういったことを適切に政策に生かしていくときにマッピングによる見える化がかなり有用で、そういうツールは各種エネルギー・環境分野への応用が可能なものであるということです。

ご清聴、どうもありがとうございました。



## 第2部 質疑

【戸田】 それでは第2部の質疑に移りたいと思います。

それでは、私から林先生に質問です。加藤先生からの話題提供で、いろいろな指標を QOL という一つの指標に統合することを紹介いただきました。統合された指標というのは政策決定などときには重要になってくると思います。一方、林先生に話題提供いただいた生態系サービスはそれぞれ、いろいろなサービスがあると思うのですが、これは統合する方向に向かう話なのか、やはりそれぞれの生態系サービスを大事にするという方向で進めていくべき話なのか、そのあたりについてはいかがでしょうか。

【林】 二つ両方見るのが正しいのかと思います。ただ、先ほどの私の話の中で PES ということで生態系サービスに対し費用と受益者の空間構造がいびつになっているという問題は、生態系サービスごとに空間構造が違うので、その生態系サービスごとに考えたほうが本当はいいことになります。しかし、それはかなり難しい話なので、そういうものがまだデータとしてあまり整備されていないこともあり、一緒くたに扱ったりすることがあると思います。

ですから、そういうことを考えるときは個別に見たほうがよろしいのですが、最終的にこのエリアをどのように評価するかというときには、統合的に見る方法が必要かと思います。物理量単位で把握するものについては、なかなか足し算、引き算が難しいです。いくつかの方法があるのですが、例えばそのエリアの中の人々のウエイトを別途取り、そのウエイトに基づき、生態系サービスごとのものを統合するときのウエイトに使うようなやり方は一つあります。ただ単純に平均するのは、もう少し工夫をしたほうがいい場合もあります。

あとは先ほど最後に私のほうで紹介する時間が

なかったのですが、RTF という手法は時間の単位に換算した状態で、それを統合するものです。エコロジカルフットプリントは面積の単位を統合して、それで評価しているものです。貨幣評価はお金の単位ですが、何か共通単位になるものを使って統合する。そういうやり方がもう一つあるかと思います。

## 第3部

未来に向けた活力ある中部へ

カーボンニュートラルの実現に向けて：中部からの発信

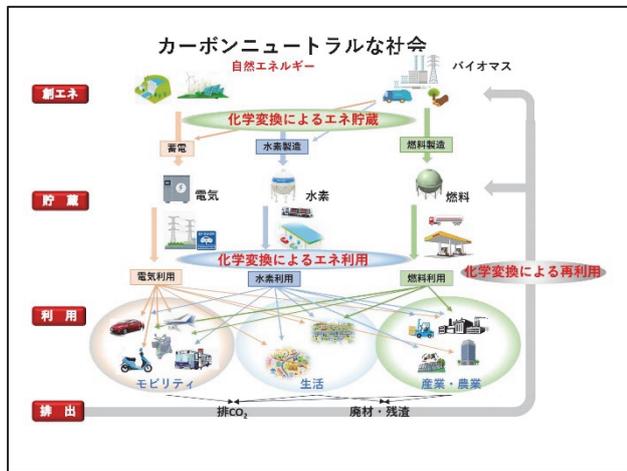
話題提供者：日比野高士

ご紹介にあずかりました環境学研究科の日比野です。もともと化学屋でしたが、先ほどお話に出ましたように、3年ほど前に土木学教室の学部兼任になりました。

## カーボンニュートラルの実現に向けて：中部からの発信

名古屋大学大学院環境学研究科

日比野高士

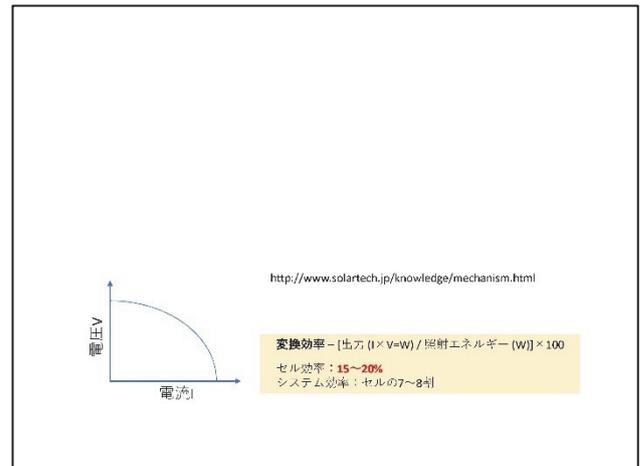


本日ご紹介する内容はカーボンニュートラルですが、かなり化学っぽいような話になってしまいます。そこで専門外の方々にも理解していただけるように、スライドをシンプルにし、また話し方もくだけた感じで進めていきます。

これが本日お話しする内容の全容です。これから一つずつ話を進めていきますが、言わんとすることは、カーボンニュートラルはこれらの過程が

ぐるりと回って循環型社会になるというものです。その要になるものが再生可能エネルギーであり、最初にその再生可能エネルギーの中でも自然エネルギーからの創エネについて話を進めさせていただきます。

太陽光電池の話をもっと詳しく話します。ご存じの方も多いかと思うのですが、太陽光電池としてはその部材に p 型半導体と n 型半導体があります。両方ともシリコンからできていて、p 型半導体はシリコン、つまりケイ素 (+4) です。これに価数の小さいもの、ホウ素 (+3) などがその代表例ですが、入れてやると p 型半導体になります。同じくケイ素、シリコン、この中に今度は価数の大きいもの、例えばリン (+5) を入れてやると n 型半導体になります。

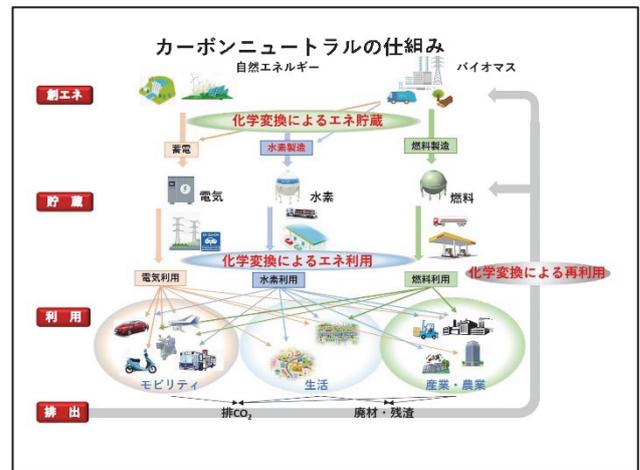
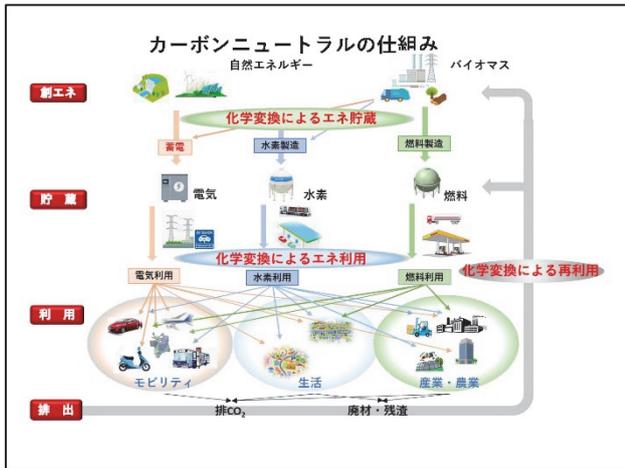


そして、この両者を接合する、くっつける。くっつけたこの接合面に光を当てると、光電効果と呼ばれていますが、p 型半導体のところには赤色の + チャージができ、半導体が + の電荷を帯びます。それから、n 型半導体には青色で示した - のチャージが、光が当たった分だけでき、半導体が - の電荷を帯びます。その結果、p 型半導体が +、n 型半導体が - という電圧が生じます。そして、これを推進力にして電流を流すことができます。

電圧×電流はW（ワット）ですから、照射エネルギーも W に単位変換して、両者の割り算をしてやると変換効率が求められます。1 個の太陽光電池の場合はだいたい 15~20%の効率で電力をつくっていると言われてています。

ています。原理原則は鉛蓄電池やリチウムバッテリーと全く変わりありません。つまり、余剰電力でまずは充電し、バナジウムを還元し、こちらではナトリウムを還元します。次に放電のときは先の逆作動でバナジウムやナトリウムを酸化しています。これにより電力を蓄電・放電することができるという仕組みになっています。

これらはほぼ技術的に完成したような状況です。ちなみに、この NAS 電池は熱田区にある日本ガイシが古くから開発していて、日本ガイシのほぼ独壇場のようになっています。



Redox flow電池の原理

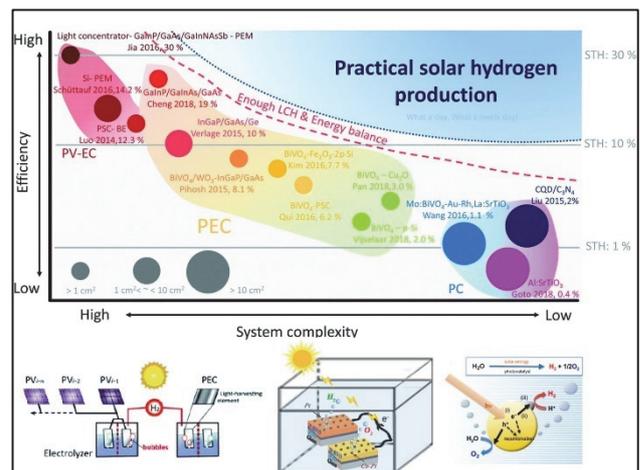
負極:  $V^{2+} \rightarrow V^{3+} + e^-$   
 正極:  $VO_2^+(5) + e^- + 2H^+ \rightarrow VO^{2+}(4) + H_2O$   
 全反応:  $V^{2+} + VO_2^+ + 2H^+ \rightarrow V^{3+} + VO^{2+} + H_2O$

NAS電池の原理

負極:  $2Na \rightarrow 2Na^+ + 2e^-$   
 正極:  $SS + 2Na^+ + 2e^- \rightarrow Na_2S_5$   
 全反応:  $2Na + SS \rightarrow Na_2S_5$

続いて、こうしてつくった電気をどのように貯蔵するのかという話をします。例えば、ダムで発電する場合には揚水発電で蓄電しますが、それ以外ではバッテリーを用います。ご存じのように、鉛蓄電池やリチウムバッテリーが有名ですが、例えば鉛蓄電池は大規模に適していませんし、リチウムバッテリーは高価すぎるといった問題点があります。

それに代わるものとしてバナジウム電池およびナトリウム電池があります。バナジウム電池はRedox flow、ナトリウム電池はNAS電池と呼ばれ



もう一つの電力貯蔵の方法として、再生可能エネルギーから水素を作ることがあげられます。これはよくご存じの通り、太陽光パネルで電力をつくり、電解槽で水を電気分解して、そして水素、酸素をつくりましょうというわけです。これは非

常にシンプルなプロセスです。

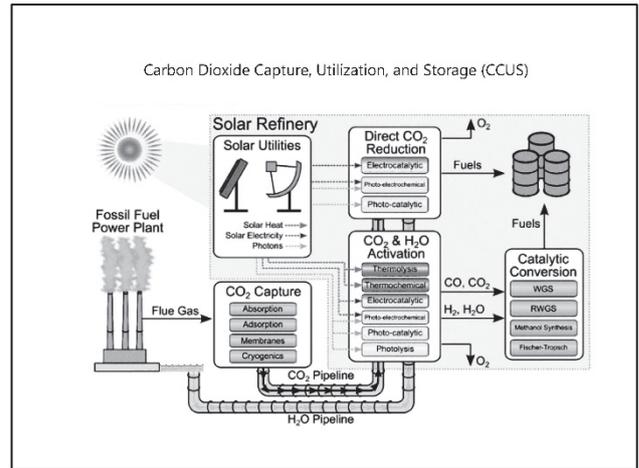
このプロセスでは縦軸の効率が実用域に達しています。ところが横軸、これは装置の複雑性、簡単に言うとコストです。パネルと電解装置はコストが高過ぎ、場所も取るという問題が生じます。

そこで、大学レベル、研究所レベルで検討されているのが、これを一段とシンプルにしましょうということで、先ほどの p 型半導体、n 型半導体にプラチナ電極を付けて一体化させたものにして、これにより水素と酸素を得ようという試みです。

もっとシンプルにするには、先の一体型デバイスをさらに小さい粒子状にしようとする考えです。p 型・n 型半導体、そして触媒を付けて  $\mu$  サイズの粒子にします。これを一般的には光触媒と呼んでいるのですが、このポンチ絵に描いてあるように、水の中に光触媒を分散させると、サイダー水のような感じで水素ガスと酸素ガスがジュワーツと出てきます。

ところが、やはり餅は餅屋ということで、光触媒は効率という面では負けてしまいます。現在はこの効率を上げようという努力が活発になされています。

特に光触媒は実は日本発の技術であり、東京大学が中心になって行っています。今で言えば堂免先生ですし、古くは本多・藤嶋先生、ノーベル賞候補の一人ですが、そういう方々の業績のたまものです。

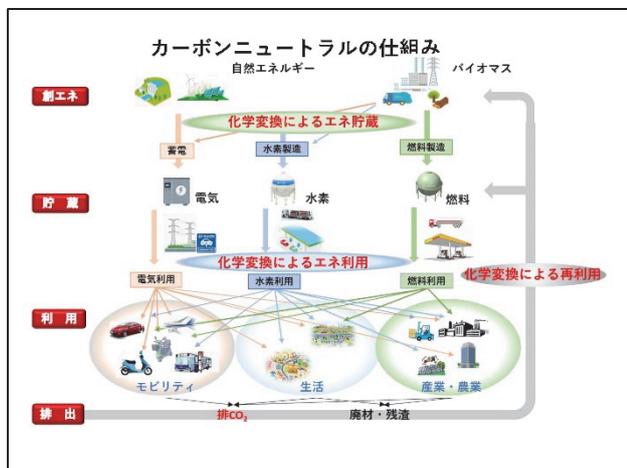


続いて利用ですが、電気の利用は EV、水素の利用は FCV です。特に私は、燃料電池が専門なので、この辺の話をしてもいいかと思うのですが、EV も FCV も既に実用化されているので、本日はこれらについて話をしません。それよりもむしろ、この二酸化炭素を一体どうやって上まで持ち上げて再利用するのかというカーボンニュートラルの、自然エネルギーと同様にもう一つ要になってくる技術の紹介をさせていただきます。

まず二酸化炭素ですが、工場から出てくる二酸化炭素のキャプチャーは極めて簡単です。これはほとんど技術的には無理なくできます。基本的には弱アルカリ性で表面積の大きな粉を利用してやれば、ほとんど捕捉することはできます。

では、捕捉したものをどうするのかというと、やはり再生可能エネルギーを使います。特に、この場合は太陽光です。太陽光を使うということは、「ああ、そうだな。これは電力を使うのだな」ということはお分かりになっていただけるかと思うのですが、もう一つ重要な役割があります。それがいわゆる熱の利用です。

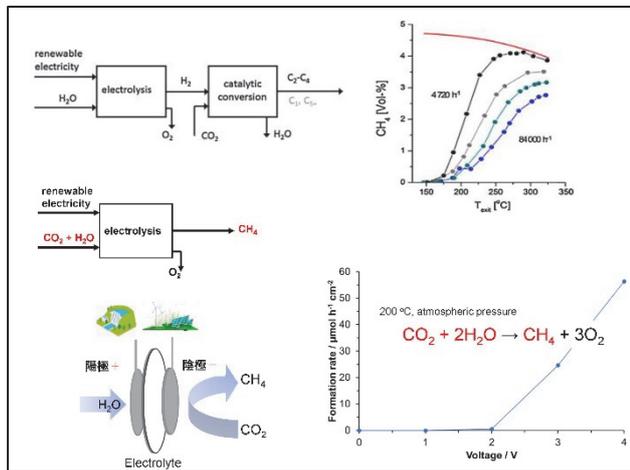
集光すると、太陽光の熱はだいたい 3000°C ぐらいまで上がると言われています。これはあくまでもスポットですが、普通でしたら数百°C、800°C ぐらいの温度は比較的容易に利用できます。したがって、太陽光で電力と 800°C ぐらいの熱を使い、いかにこのキャプチャーした二酸化炭素を有用な化学物質にするかという話になります。



二酸化炭素と水から電気と熱を使ういろいろな方法が提案されています。まずは電気分解や光触媒で水素を作り、二酸化炭素を一酸化炭素に還元します。これによって水素と一酸化炭素を作ります。

では、「水素と一酸化炭素をつくったらどうするの?」と言うと、これが有名なフィッシャー・トロプシュ反応です。これは、実は私が学生のころから既にあったもので、私の後輩もこの研究をやっていました。高温・高圧を必要としますが、「あれよ」という感じでカーボン数がだいたい 8 ぐらいの人工ガソリンを得ることができます。

この技術は確かに一見、確立されているかのように見えるのですが、現状ではもっとシンプルにいきたい。つまり、この方法では 2 段となっていますが、むしろダイレクトに燃料もしくは化学薬品に変換できないかということが望まれています。したがって、いま研究はこちら側が主になっています。これは太陽光エネルギーを使い、ダイレクトに二酸化炭素と水から燃料もしくは医薬品にしようというものです。

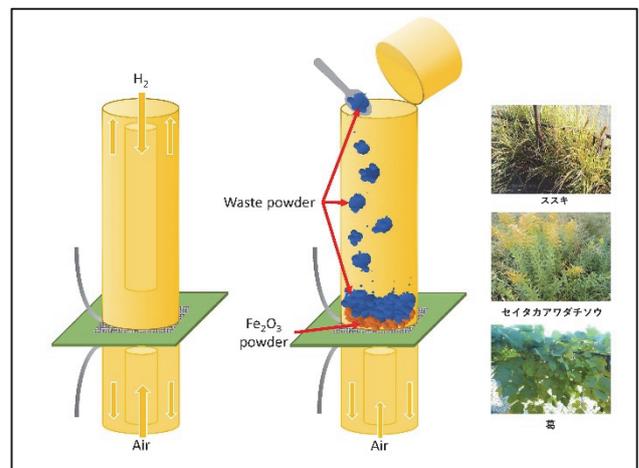
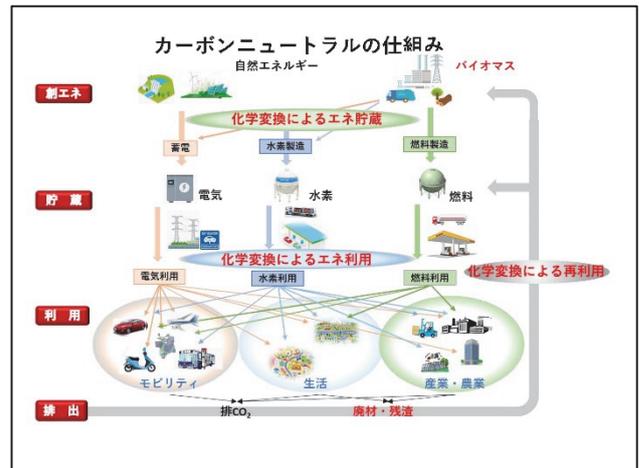


復習になりますが、再生可能エネルギーを使い、水をあらかじめ電気分解して水素にする。そして、熱を使い、触媒反応で二酸化炭素を還元し、カーボン数 2-4 の炭化水素にする内容です。これはとある研究グループの研究成果ですが、だいたい 300°C になるとメタンが理論上どおりにできてい

ます。

ただし、これを 1 段で行いたいという要望が強くなります。これはわれわれの研究成果になるのですが、やはり再生可能エネルギーを使います。そして二酸化炭素と水、これらを一緒に電気分解することにより 1 段でメタンを、このようにつくることができました。かなりの量のメタンをつくることができました。

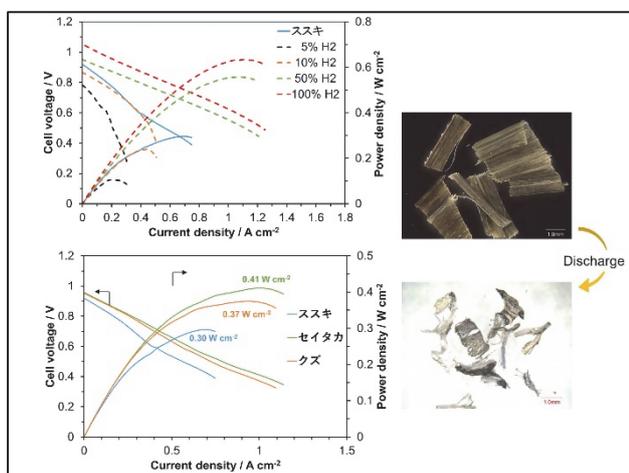
このメタンができたときは喜んだのですが、先日終了した COP26 でメタンは散々こけおろされました。ほぼ有害ガスに近いような言われ方をしていました。これに加えて、前々からメタンはちょっと生成物としては価値が低いなということを感じていたので、この改善点については最後にコメントさせていただきます。



もう一つ出てくるのが、いわゆるごみです。こ

これはどうしても産業、それから家庭などから大量に出てくるわけですが、これもやはり上に持ち上げてやらないといけないということです。これについては火力発電があったりするのですが、手前みそになってしまいますけれども、われわれの研究成果をここに紹介させていただきます。

これは燃料電池で、上から水素、下から空気を入れています。これにより発電をするというものです。今、この水素の代わりに、これは名古屋大学周辺から採ってきたススキやセイタカアワダチソウ、クズ（葛）ですが、これらを入れてやることにします。

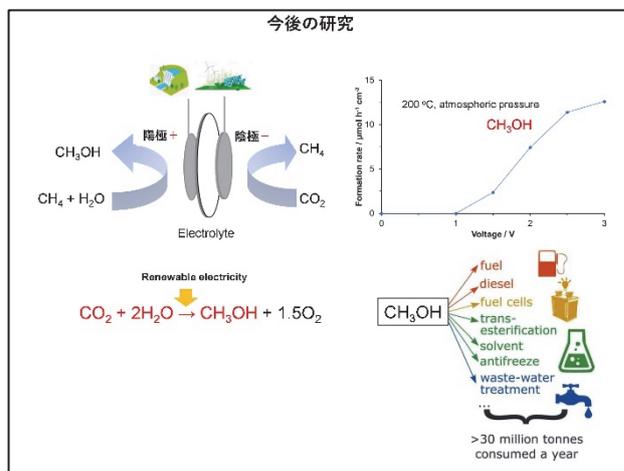


普通に雑草を入れても性能が出ないのですが、ここにちょっと触媒を加えてやると、次に示したように、この青色のラインがススキの性能ですが、発電をすることができました。ちなみに、この点線は全て水素のデータです。水素の濃度が5%、それから10%、50%、100%ということで、ススキの発電能力は水素の10~50%並みということが分かっていただけるかと思います。

そのほか、ススキ以外にクズ、セイタカアワダチソウにすると出力がさらに増えます。これは恐らく中に含まれている成分、セルロースやリグニンがあるのですが、それらの比の違いによるものと思われます。

そして、もう一つの重要な結果として、はさみで切ったススキを先ほどの燃料電池に入れたので

すが、発電後はこのようにすべて灰になっていました。ここで言わんとすることはススキの有機成分を皆、発電に利用することができたということです。



最後になりますが、先ほどのメタンをどうするのかという話を、いま取り組んでいる研究で少し紹介したいと思います。先の方法では、右側から水蒸気、左側から二酸化炭素を入れました。そして、電気分解を行って水素をつくります。その水素で二酸化炭素をメタンへと200°Cで還元したわけですが、このように発生したメタンを続いて陽極に回します。そうすると、本来でしたら水蒸気の電気分解で酸素ができるわけですが、この酸素により、メタンがメタノールに酸化されます。そして、ご覧のようにメタノールが大量に生成したわけです。

メタノールについては、先ほどの COP26 で散々言われたメタンとは違い、ここに示すようにいろいろな使い道があります。だいたい年間にして30万tぐらいの消費が製造業でされています。以上のことから、二酸化炭素と水、そしてその再生可能エネルギーから光合成のようにメタノール、光合成に近いような感じにかなりなってきたということです。

時間が少し早いかもしれませんが、私からの報告は以上です。ご清聴どうもありがとうございました。

## 脱炭素かつ持続可能なストック型社会へ向けた土木の役割

話題提供者：谷川寛樹

私は土木系教室の環境系ということで、現在、環境学研究科都市環境学専攻、学部のほうでは環境土木・建築学科に所属しています。2022年4月より、脱炭素社会創造センターが名古屋大学未来社会創造機構に設置され、そちらにも微力ながら協力させていただいているところです。

タイトル画面に都市の写真を示しましたが、これは北九州市の高塔山といって、市内西側から小倉側、市内中心部を撮った写真です。見ていただいても分かる通り、橋やビルが多く見え、奥のほうに工場地帯があり、今日これまでご講演いただいた先生方のご説明に直結するような土木構造物（例えば橋梁、そのほかコンクリート構造物、構造物）が多く存在します。第2部で中村光先生が紹介された通り、既存インフラの長寿化や、長期活用する方策が大変重要になります。さらに、都市に居住する方々の QOL の向上ですとか SDGs の達成ということで加藤博和先生にもお話しいただきました。写真の奥に見える山のほうでは自然共生型都市という概念もあり、いろいろな要素がこの写真1枚に含まれていると考えながら先生方の話を聞いていたところです。



私のほうでは、都市全体がどのように持続可能

型になっていくのか、それをどのように計測していくのかということの研究しているので、その辺りからお話いたします。

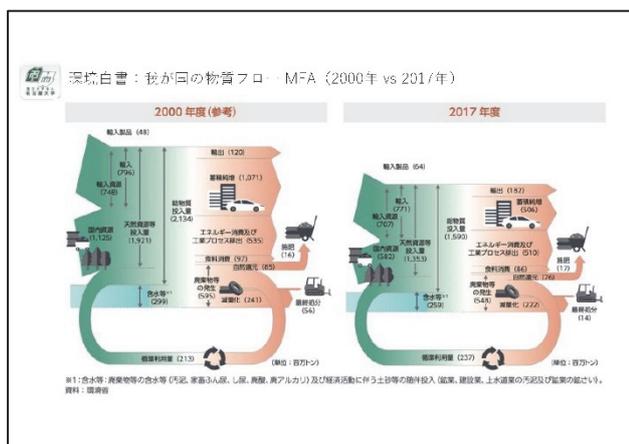
都市構造物は、鉄鋼材やコンクリート、木材等、いろいろな素材がまちの中で使われています。まちの中で使われている素材は多くありますが、もともとは自然から供給された素材を利用し、建設資材を生産し、土木構造物や建築構造物が建設され、まちづくりに役立っていることになります。

脱炭素型、そして持続可能型にしていくためには、いろいろな方面から考えていく必要があります。特に都市全体を捉え、都市に必要な資材量を定量化することは重要です。都市の体重のようなものの変化を考えながら、都市重量がどのように変わってきているのか、社会全体が自然界からどれほどの資源を採取し、どう利用するのか、使い終わった後に、どう資源循環していくのか、さらに、なるべく廃棄物を排出しないような社会をつくっていくにはどうしていくのかということを考えているところです。

国全体で考えると、『環境白書』に掲載されている「わが国の物資フロー」を見たときに我が国、日本はでの物質収支を概観することができます。2000年時は社会への投入量を全部合わせると年間約20億tの物質を使い日本社会は活動していました。そのうち、約半分の約10億tほどが日本社会を支える物質ストックに変わっています。具体的には、土木構造物、建築物、自動車といった耐久消費財の生産に使われています。これらの物質ストックが積み上がって日本社会が形成されてきました。

しかし、2017年になると2000年と比較して大幅にフローが減少しています。日本全体として年間約15億~16億tのものを使って社会全体が成り立っている状態になりました。各フロー要素を見ていくと、実はある一つの数字を除き、あまり大きく変わっていません。例えば輸出は少し伸びています。エネルギーの消費も若干減ってはいますが、ほぼ同じぐらいの数字。食料消費も人口の

減少に合わせて若干減り気味です。廃棄物の発生については若干減ってはいるものの、最終処分される物質については大きく減少しています。最も減少している項目は、蓄積純増と書かれている社会を形成するための、土木構造物や建築物といった耐久消費財が 2000 年当時から約半分になっています。その結果、日本社会全体が使う物質量は、約 20 年弱の間で 20 億 t から 15 億 t に減少することになりました。



蓄積純増（社会の物質ストックの純増量）が減少傾向ということは、新規建設と解体とのバランスが取れる方向に向かっていることになります。ただ、日本社会は解体量が新規建設量より少ないため、社会の物質ストックは蓄積傾向にあります。しかし、全体的な傾向としては、新規建設の増減と、解体量の増減が結びついており、ストック活用形の成熟した社会状況に向かいつつあります。このように社会全体として高度成長期から徐々に落ち着いてきていることは分かっていますが、物質フローの情報だけでは、社会活動をどれぐらいの資源量で支えているのか、物質ストックの状況については、これまで分からなかったところでした。

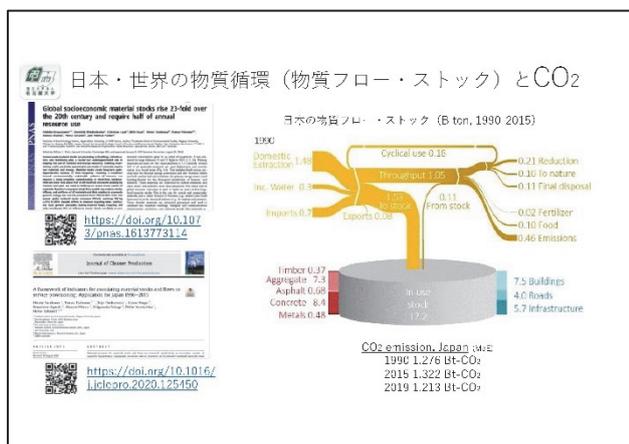
そこで、我々の環境社会システム工学研究室ではいろいろと物質ストック関連の研究を実施しました。この図は 1999 年に廃棄物学会の会長だった京都大学の高月先生がイラストとして描いた絵です。大量の物質が社会の中にこの蛇口からどん

どん入ってくる。そして、社会で資源を消費したり、都市構造物を建設したり、このたらいの中で大量の資源が使われている。使用済みの資源が溢れてくると、たらいの周りの方々が一生懸命すくっては、はしごを上って社会に再投入することを繰り返している。しかし、そのうちの 1 人がこの蛇口のタップを指さし、「これはちょっと蛇口を締めたほうがいいのではないか」とつぶやいています。正にその通りで、投入される物質の蛇口を締めない限り、出ていくものも減らないし、出ていくものが減らなければ、大量リサイクルを続けなければならない。たらいの中に蓄積されている構造物が増加している状態では、質の高い構造物の整備を行うとともに、蓄積された構造物を効率的かつ長期間利用することが重要です。このような視点から、社会の物質フローの入口部分と出口部分のコントロールと同時に、蓄積部分のコントロールがこれは物質を使っている割合の一番多い土木もしくは建設系の分野が担っていくところかと考えています。



実際、我々の社会が豊かさを享受するために必要な物質量は十分に定量化できていなかったことから、共通の学術的興味を持つ世界各国の研究者と連携して進めています。世界全体の人間活動を支えている物質ストック量は、20 世紀中に約 23 倍増加していることが明らかになりました。先進国では 1 人当たり約 300t から 350t の物質ストックを使い、人間活動が行われていることが初めて

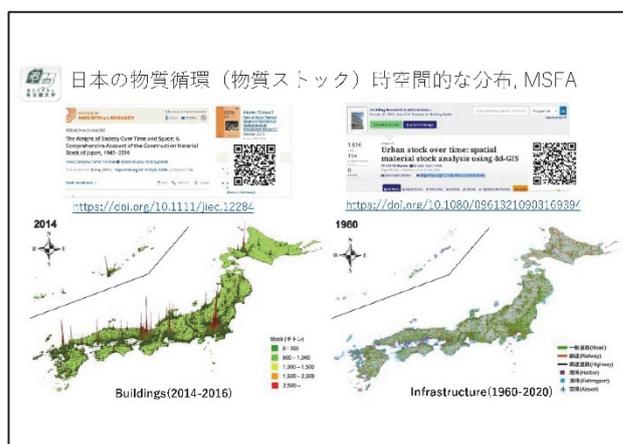
分かりました。(F Krausmann et al. 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613773114>)



右図は、日本全体の人間活動に使われる一年間の物質フローと、その人間活動を支える物質ストックを図に示したものです。物質のフローを支える物質ストックといったイメージです。図中には、海外や国内から日本社会に投入される物質、食料をはじめ生産活動やエネルギー転換に使われる物質、物質フローから社会に蓄積される物質ストックになる新規建設や耐久消費財といった物質、さらにリサイクルされる物質、廃棄される物質が示されているものが上部の物質フローの図になります。下部のタンクのような図は、社会を支える物質ストックを表している。ここには、社会基盤施設、建築物、車や家具などの耐久消費財が含まれており、さらには物質ストックに含まれるコンクリートや鉄鋼材、アルミ、木材といった素材の量についても記載しています。このように、物質フローと物質ストックを同時に把握できるため、より体系的に人間活動と資源利用量を把握することができます。(H Tanikawa et al. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125450>)

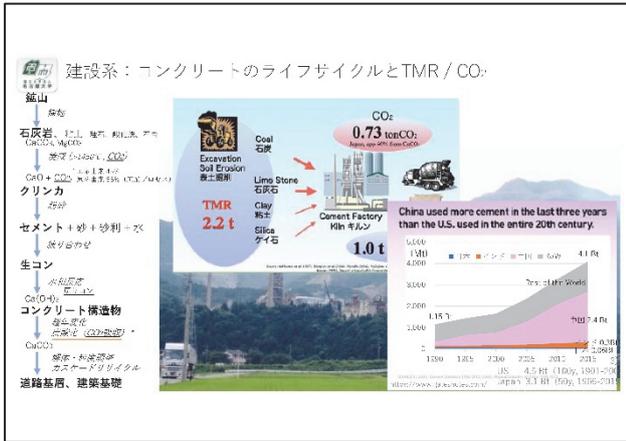
さらに、蓄積した物質ストックが、どのように使われているのか、また、社会で有効に使われる年数や社会に滞留する年数を分析することで、物質ストックが効率的に利用されているかどうかを検討することができます。このような物質ストックの状況を詳しく知ることと社会経済状況とを合

わせて考えることで将来の物質フローについて考えることに繋がります。物質フローについて考えることはエネルギー消費や温室効果ガス排出量の分析にもつながり、社会の持続可能性の評価につながります。さらに、建築物一棟毎、道路構造物毎に蓄積されている物質の種類と量を把握し、日本社会のどの場所にいつ頃物質ストックが蓄積されてきたのか、地理情報システム(GIS)等を通じて時空間的な分布を明示化することができれば、国や自治体による環境施策に資することができます。(H Tanikawa et al 2015. <https://doi.org/10.1111/jiec.12284>)



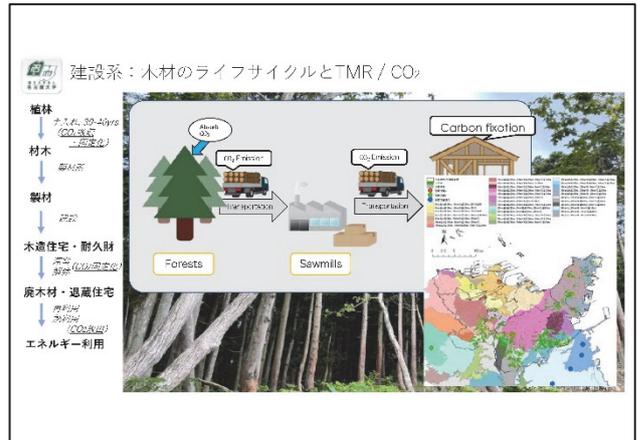
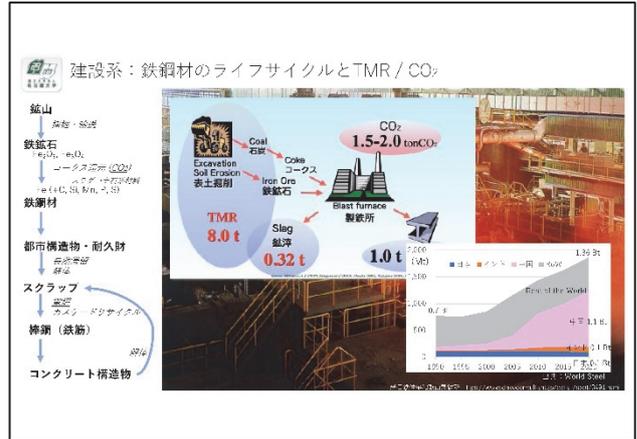
社会を形成する物質ストックを素材ごとに考えてみようと思います。まずは、コンクリートです。コンクリートは、ポルトランドセメント、砂、砂利、水からつくられます。セメントは、石灰岩、粘土、珪石、酸化鉄、石膏から作られますが、1450°C以上で焼成する工程が含まれます。環境的には、1トンのポルトランドセメントをつくるために、日本の高性能なロータリーキルンを使うと、おおよそ0.73トンのCO2が出ると言われています。加えて、資源採掘時に発生するズリ(捨石)などを考慮すると、セメント1トンを生産するために必要な物質量は約2.2トンになります。この量は総物質必要量、Total Material Requirement (TMR)と呼ばれ、温室効果ガスの排出量やエネルギー使用量と並び環境負荷を定量評価するための重要な指標になっています。都市構造物の建

設・維持管理をする中で、CO2 や TMR を併せて考えることが大事なポイントです。



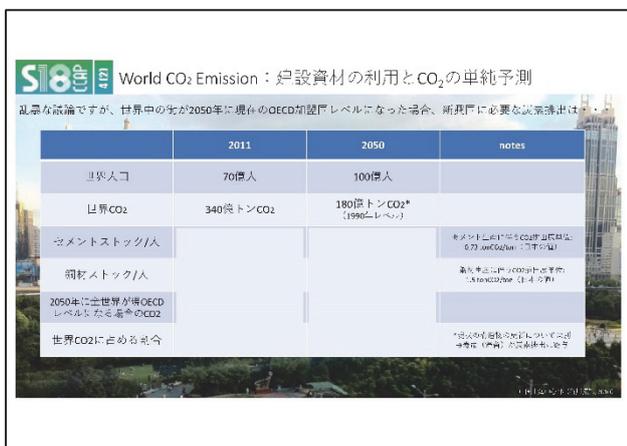
世界で利用されるコンクリートについて考えてみます。20 世紀中にアメリカ社会に投入されたセメント量は 45 億トンですが、この量は 2011 年から 2013 年の 3 年間で中国に投入されたセメント量に相当します。日本で言えば戦後投入された 50 年分が中国の 18 ヶ月分に相当します。中国のセメント使用量は世界全体の半分強を占めます。生産に伴い発生する CO<sub>2</sub> やそ TMR を考慮すると少しでも長く構造物が使われる方が持続可能性に寄与することは自明です。一方で、コンクリート構造物は、その表面から炭酸化が進みます。大気中の二酸化炭素を吸収してコンクリート表面に固定化します。また、強制的に炭酸化を行うコンクリートの研究も進んでいることから、コンクリートによる CO<sub>2</sub> 吸収技術について今後も注視したいと考えています。

鉄鋼材についてもコンクリートと同じことが言えます。鉄鋼材は 1t 生産するとき発生する CO<sub>2</sub> は、生産設備による違いもありますが、約 1.5-2.0 トンほどになります。TMR は 1 トンの鉄鋼材で約 8 トンになります。世界の粗鋼生産量の内訳を見ても中国は世界の約半分を占めており、今後の中国の動向が注目されるとともに、脱炭素化技術導入による鉄鋼生産のグリーン化が求められています。

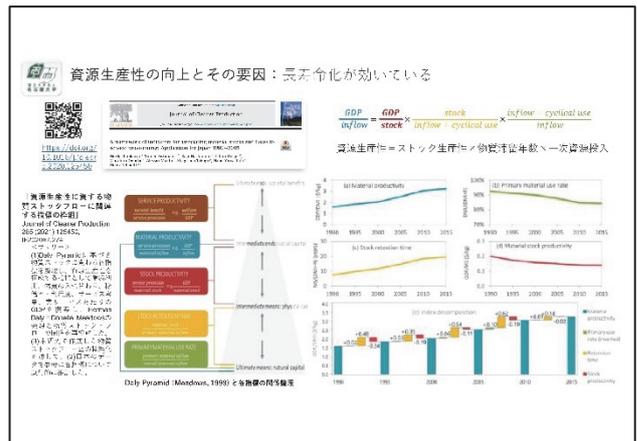


気候変動緩和に関する議論でも都市建設は重要な役割を担っています。(写真) 2010 年当時の上海中心部の写真ですが、現在はさらに多くのインフラや建物が建設されています。このように都市建設は先に上げたコンクリートや鋼材といった多くの建設資材の生産が必要となり、その生産に伴い CO<sub>2</sub> の排出が誘発されます。気候変動の緩和策と建設資材の関係を見てみましょう。2011 年に 70 億人ほどいた世界人口が 2050 年に 100 億人まで増えたと仮定します。70 億人でこの当時 340 億 t の CO<sub>2</sub> が発生していました。2050 年に 1990 年レベル (約 180 億 t) に抑え込む必要があります。一方で、セメントと鋼材の一人あたりストック量の世界平均は、セメントが 1 人あたり約 6t、鋼材が 1 人あたり約 3t と言われています。セメント生産に伴う CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.73 tonCO<sub>2</sub>/ton (日本の値)、鋼材生産に伴う CO<sub>2</sub> 排出原単位が 1.5 tonCO<sub>2</sub>/ton (日本の値) です。

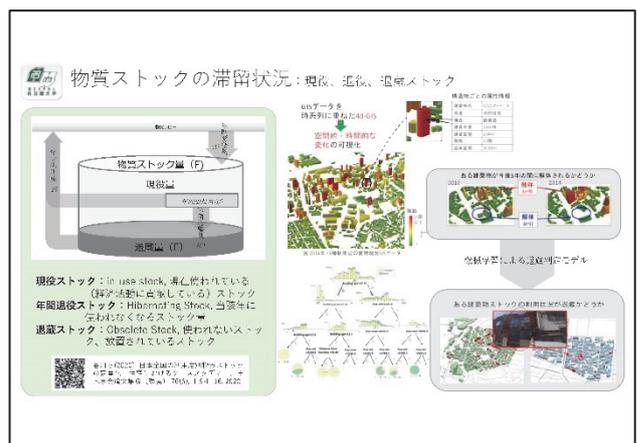
2050年に全世界が現OECDレベル（セメント20トン/人、鋼材10トン/人）になる場合のCO2排出量は、セメント：+28億トンCO2/年、鋼材：+30億トンCO2/年となります。世界全体に占めるCO2の割合からすると、CO2の排出量自体が減っている中でセメントでは16%、鋼材でも16%を占めます。2050年における全世界の排出量に占める新規建設に必要な資材生産関連のCO2排出量の割合が32%ということになります。セメントも鋼材も枯渇性資源ではないため、温室効果ガス抑制の施策が都市建設と直結することが予想されます。



そんな中で我々が考える重要なポイントは滞留年数です。物質ストックが社会に滞留する時間ということですが、滞留年数の長短によって新規資材の投入、排出、循環、経済的投資が変わってきます。われわれの社会の中でも実際生産したものが構造物であれ、耐久消費財であれ、どれぐらい長い年数使われていくのかということが、次の段階でCO2を出さない、もしくは循環性能を上げることに非常に密接に関わってきます。そのためにもより良い構造物を長く利用することが重要になってきます。



どの建設資材も社会の上流側へリサイクルすることが大事ですが、なかなか難しいことを考えると、脱炭素社会の実現には一度蓄積した物質をなるべく長時間利用するストック型社会のような社会制度の設計が必要ということになります。



最後のスライドになりますが、土木として将来のストック型社会をどのように実現していくのか、フロー型社会で繰り返した、世代ごとに作り変える短寿命構造物から脱却し、次の世代の社会環境状況にも十分対応できる長寿命型構造物を“資産”として蓄積することが、重要な視点になります。長期に維持できる資産の蓄積が、次世代の豊かさに繋がります。このようなストック型社会の実現は、先ほど加藤先生もおっしゃったSDGsへの貢献も十分に考えられます。

これからの土木は、さらなる脱炭素化を進めていくためストック型社会を実現していく必要がある

ることを申し上げました。谷川研究室もストック型社会構築に資する様々な研究に取り組んでいるので、機会がありましたら紹介させていただければ幸いです。私からの報告は以上です。ありがとうございました。

**建設系資源：社会の「物質滞留時間」がカギ。循環+脱炭素に重要**

各業種が提唱する  
脱炭素+資源循環への方策

**(将来の需要：鉄、炭素)**

- ・ 造船造船：造船に加えて船舶の活用
- ・ コンクリート増産と鋼構法の活用
- ・ UGSの実現
- ・ 水素還元の実現

**(将来の需要：鉄、炭素)**

- ・ セメント中のクリンクの減少
- ・ フライアッシュの活用
- ・ 廃棄物の受け入れ・燃焼
- ・ UGSの実現
- ・ カスケード型リサイクル

**(将来の需要：鉄、炭素)**

- ・ 低炭素鋼の増産、再生鉄法
- ・ CO2回収・森林と炭素木材の促進
- ・ 改良グリーン鋼、プラゲル材開発

← 1年分の建築物は2年以内

Building Age of Demolition (Building Age: 1, 2, 3)

Material Stock

どの素材とも上流側へのリサイクルが難しいことが特徴。

「脱炭素社会」の実現には、炭素固定した構築をなるべく長期利用する「ストック型社会」の実現が不可欠。

**フロー型社会からストック型社会へ：無尽蔵な資源型循環経済へ**

**フロー型社会** 各世代ごとのつくり換え

世代ごとに資源消費(CO2)排出が続く  
生産廃棄による固定資産の割合高  
高コスト社会化

**ストック型社会** 世代を超えた  
資産・資源蓄積

豊かな生活・安定した暮らし  
資源循環型社会・CO2排出削減  
自然資源投入感による自然共生

資源型循環経済(CO2削減) + ストック型社会(CO2削減)

資料：国土省 2017 「ストック型社会」

**さらなる脱炭素化「ストック型社会」へ  
Zero Emission- de-materialization  
Resource Paradox**

**気候変動 定歩+脱炭素**

<https://a-18cccp.jp>

気候変動研究所  
プロジェクト「脱炭素社会」(Society 2050)  
シンポジウム「脱炭素社会」  
シンポジウム「脱炭素社会」

**ストック型社会と脱炭素社会**

そつすることで...

価値あるものを  
全量で  
大切に  
長く使う社会。

<http://foss-stock.org> 理事長：内田久人  
代表理事：谷川真太郎

**鉄鋼材・コンクリートと脱炭素**

鉄鋼業・コンクリート業界の脱炭素化  
脱炭素化に向けた取り組み  
脱炭素化に向けた取り組み

脱炭素化に向けた取り組み  
脱炭素化に向けた取り組み

脱炭素化に向けた取り組み  
脱炭素化に向けた取り組み

先進モビリティ地域中部に向けて

話題提供者：森川高行

いま未来社会創造機構にいる森川です。「先進モビリティ地域中部に向けて」ということで発表します。

**先進モビリティ地域中部に向けて**

2021年11月13日

名古屋大学 未来社会創造機構  
モビリティ社会研究所 教授  
森川高行

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 1

皆さんご承知のように、いま 100 年に一度のモビリティの変革期と言われていています。いわゆる CASE という話です。CASE は Connected・つながる、Autonomous・自動、それから Share and Service と言われますが、車の保有からシェアしてサービス化、それから Electric・電動化です。ということで、究極には通信でつながり、自動運転化された電気自動車を移動サービスとして利用する。そういう究極のモビリティに向かって革新が進んでいると言われていています。これは 20 世紀初頭のガソリン車の大衆化以来、初めての本格的な変革が起きつつあるということで、100 年に一度の変革期と言われていています。

**百年に一度のモビリティ変革期 "車のCASE化"**

Connected	つながる化
Autonomous	自動化
Serviced	サービス化
Electric	電動化

通信でつながり、自動運転化された電気自動車を移動サービスとして利用

20世紀初頭のガソリン車の大衆化以来初めての本格的な変革が起きつつある

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 2

ただし、車の CASE 化は夢のように語られていますが、課題も多いです。例えば完全自動運転、いわゆるレベル 5 は本当に実現できるのだろうか。あるいはライドシェアリングは、例えば Uber のようなもの、ライドヘイリングというのですが、本当に日本で導入できるのか、また、すべきなのか。車の保有は本当に減るのか。

**ただし、車のCASE化には課題も多い**

- 完全自動運転は実現できるのか？
- ライドシェアリング(Uberのようなライドヘイリング)は、日本で導入できるのか、また、すべきなのか？
- 車の保有は本当に減るのか？
- Connected Carの嬉しさは、コストに見合うだけあるのか？ プライバシー問題は？
- 電動化は本当に環境にやさしいのか？ 電池のエネルギー密度はどこまで高められる？

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 3

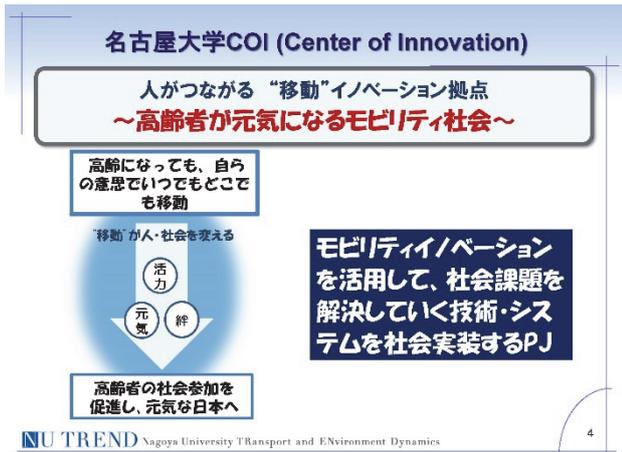
それから、Connected Car、つながる車のうれしさとは何だろうか。それはコストに見合うだけあるのだろうか。プライバシーの問題はどうか。

電動化は本当に環境にやさしいのか。当然、電源構成に関わってくるものですし、電池のエネルギー密度はどこまで高められるのだろうか。

実際は非常に大きな課題が非常にたくさんあります。

これに向け、名古屋大学では Center of

Innovation (COI) という文科省のプロジェクトに申請をして採択されたのがおよそ9年前です。「人がつながる”移動”イノベーション拠点」という名古屋大学 COI 拠点であり、目指すところは「高齢者が元気になるモビリティ社会」です。つまり、モビリティイノベーションを活用して、社会課題を解決していく技術・システムを社会実装するプロジェクトです。



これは文科省のプロジェクトですが、社会実装ということが強く求められていて、経済産業省のプロジェクトでなくても、社会実装がマストとされています。

これが名古屋大学 COI の構成組織で、産官学の組織で産側の代表はトヨタ自動車です。プロジェクトリーダーは産側から出すことが決まっています、トヨタ自動車の畔柳さんという方がプロジェクトリーダー、私が研究リーダーを務めています。これは2013年度に始まり、9年間という、国プロにしては非常に長いプロジェクトです。全国に COI は 18 拠点あります。そのうちのひとつが名古屋大学 COI です。3 年前に中間評価で S+ という望外の高評価を受けています。官側は地元の自治体である愛知県名古屋市、豊田市、春日井市、幸田町が参画しています。



これが名古屋大学 COI のビジョンとされているもので、高齢者が元気になるモビリティ社会をどのように実現するかという 3 本柱です。まず「人」へのアプローチで、お出かけしたくなるような身体と気持ちになっていただく。それから「モビリティ」です。安心・安全に使える車と運転支援や自動運転。そして外出した結果、高齢者が社会参加していき、自尊心が生まれるような場と仕組みをつくっていく。



実際に開発している技術をここにちりばめてありますが、今日紹介するのはゆっくり自動運転、それからダイナミックマップ、Mobility Blend というモビリティサービスです。この辺を紹介しながら、中部の今後の先進モビリティの話をしたしたいと思います。

まず、Mobility Blend (MB) です。最近 MaaS

という言葉がはやっていますが、MB は田舎版 MaaS と考えていただいたらいいかと思います。交通不便地域を対象として、既存の交通手段、例えばコミュニティバスやタクシーがありますが、これだけでは不便というときに、たらずまいのところを CASE 型の移動手段をブレンドしていく。

**モビリティブレンド(Mobility Blend®, MB)**

中山間地域、オールドニュータウン、地方都市など公共交通が不便な地域を主な対象とするモビリティサービス

- 地域の既存交通手段と、**新規に導入する手段をブレンド**して、利便性の向上と選択肢の多様化を図る
  - 新規導入手段には、**CASE型移動**を活用(ライドシェア、自動運転など)
- 高齢化・過疎化・運転手不足など地域の条件に合わせて、CASE型モビリティを組み合わせる

既存手段 CASE型移動 …… 既存手段 CASE型移動

CASE型モビリティの導入により、低コストで、サービスを向上させながら、Disruptive(破壊的)でない地域交通システムの Innovation(革新)を実現

これにより、低コストでサービスを向上させながら、最近イノベーションというと必ず disruptive (破壊的) でないといけませんが、われわれは地域の交通システムを破壊しようとは思ってなくて、破壊的ではない地域交通システムのイノベーションを実現するのが、この Mobility Blend というコンセプトです。

もう一つ、自動運転です。ゆっくり自動運転と名付けています。先ほどの Mobility Blend もゆっくり自動運転も商標登録を取ってあります。これはその名のとおり、ゆっくり走るということです。地域限定、それから経路を決めてという、最近で言うレベル 4 の自動運転です。

**ゆっくり自動運転®**

早期の社会実装を目指し、低速度(時速20キロ以下)・特定地域で走行する、人や社会と協調するレベル3またはレベル4の自動運転

- サービス
  - 交通弱者へのサービスや公共交通の補強をメインに
    - 近距離輸送(ラストマイル・シェアカー、巡回バスなど)
    - 無人回送(シェアカー自動回送、自動パーレーパーキングなど)
- 走行性
  - 周囲との親和性が高い挙動
    - 後継り機能、ダイナミックマップ連携、コミュニケーションディスプレイなど

ゆっくり自動運転®  
Exact Self-driving System

NU TREND Nagoya University (transport and environment dynamics)

このゆっくり自動運転というコンセプトをつかったときは、日本の自動運転はまだ四つしかレベルがなく、今で言うレベル 3 の次はレベル 4 が完全自動運転でした。われわれは完全自動運転は非常に難しいと認識していて、地域限定、ゆっくりの速度で早く社会実装しようということで、このゆっくり自動運転というコンセプトをつくりました。その後、日本でもレベル 4 と 5 ができ、このゆっくり自動運転のコンセプトは、結果的に今で言うレベル 4 のコンセプトと非常に似ていると思います。

**ゆっくり自動運転® 車両プラットフォーム**

ゆっくりコムス 定員：1名

ゆっくりカート 定員：4名

ゆっくりバン 定員：6名

ゆっくりミニバス 定員：8名

名古屋大学 COI でも、このゆっくり自動運転の車両プラットフォームを開発していて、今のところ 4 種類の車両をつくっています。1 人乗りの電動自動車、コムスを改良したもの、それから電動ゴルフカートを改造したゆっくりカート、小型バ

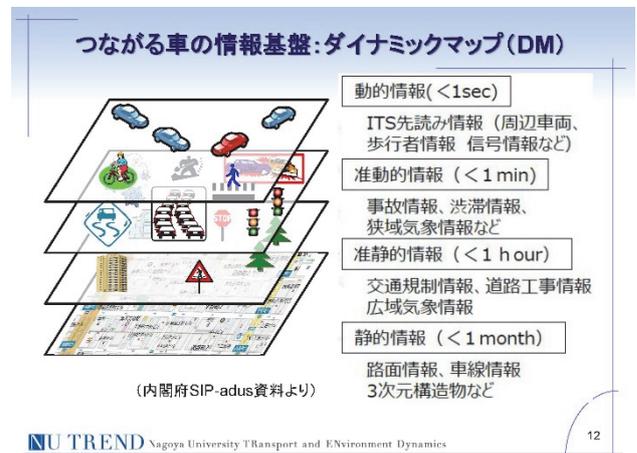
ス代わりにもなるようなミニバンを改良したゆっくりバン、8人乗りのEVバス、ゆっくりミニバス、こういうものを開発しています。

この車両を使い公道の走行実験、これは愛知県内で昨年度までに行った自動運転ですが、ニュータウン、それから中間山地域での実証実験を重ねてきました。愛知県外でもいろいろなところでやっていて、兵庫県や静岡県内でも実証実験を重ねています。



もう一つ、ダイナミックマップ、これは聞いたことがないかもしれませんが、まさにダイナミック、動的な情報を地図上に重ねる高度交通情報のプラットフォームです。例えば、こんな4層のレイヤーになり、一番下は静的な情報、いわゆる伝統的な地図ですが、準静的、準動的、一番上が完全な動的ということで、車1台1台、歩行者の情

報を車の地図上に重ねていき、これを使って交通を管理・制御していこうというものです。例えば合流支援とか、究極には信号の要らない交差点を実現しようと考えています。



このダイナミックマップのもう一つの使い方は、道路利用料金制度につながると考えています。先ほどのCASEの中のE、Electricになると、ガソリンや軽油を使わない車になり、ガソリン税、軽油取引税が国家に入らないことになってきます。これは重要な問題で、いわゆる道路特定財源は明示的にはなくなりましたが、実質的には膨大なガソリン税を使って道路整備や維持管理を行っていますが、EV時代になるとどうやって道路の整備や維持管理をやっていくのかということになってきます。

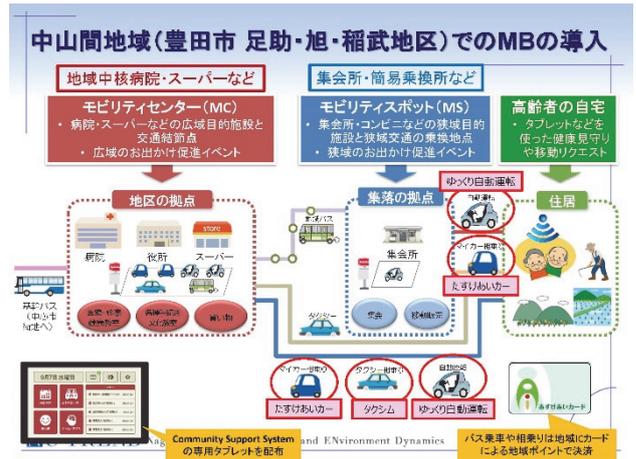
## DMが可能にする「道路利用料金制度」

- ガソリン(または軽油)を燃料としない自動車が今後増加する中、道路整備や維持管理に対する**負担の不公平性と財源不足**が顕在化する
- 燃料の種類に関係なく、**道路を利用した分の料金を支払う**制度が望ましい
  - 道路へのダメージを考慮して、車種により料率は変化
  - 持続可能な道路維持管理システムへ
- 渋滞対策や環状道路への誘導などのグローバル・マネジメントは、**料金単価を場所と時間で変化**させることで対応
  - 都心部道路の単価は高くして混雑を緩和(都心乗り入れ課金)
  - 環状道路の単価は安くして利用誘導(環境ロードプライシング)
  - 高速道路は「特急料金」的に単価に上乘せ(高速道路料金)
  - 混雑時は単価を高く(混雑課金)

このときに本来は道路を使った量や質により、ちゃんと利用料を取らなければいけないのですが、これを取る方法がなかったのが、今まではガソリンや軽油に税金をかけていた。電動化になると、これが取れなくなる。しかし、ダイナミックマップを使うと、今どこを走っているかということにより、その料金を取ることができる。

料金は財源を得るだけではなく、料金単価を場所と時間で変化させることにより、例えば混雑料金とか高速道路料金とか、こういうものを全部包含して取れることになる。非常に大きなデジタルインフラとして今後進めるべき政策ではないかと思ひ、これにも取り組んでいます。

ここから社会実装の話ですが、先ほどの Mobility Blend というものを、まずは高齢化が一番進む中山間地域で実装を進めています。実際の場所は先ほど林希一郎先生が紹介した豊田市の中山間地域、足助、旭、稲武という地区で Mobility Blend を導入しています。地区の拠点、集落の拠点、その周りに住んでいる高齢者、そして既存の交通手段としてコミュニティバス、それから数少ないですが、タクシーがあります。



それに対し、たらずまいの交通手段として CASE 型の移動手段。ここでは社会実装を早めるということで、まずは住民同士の相乗り、いわゆるライドシェアをラストマイルのところで入れたもの。それから定型的な移動として、例えば住居から病院までの移動に先ほどの住民同士のライドシェア。ライドシェアはマッチングができない場合もあるので、地元のタクシー会社と協議してタクシーの相乗り。これにより料金を下げる。どちらもローテクですが、そういう CASE 型の移動手段を入れている。

それにプラスして若干の IT です。例えば、たすけあいカーのマッチングなどをタブレット端末で行うとか、若干の料金収受を地域カードで、地域ポイントで行う。これは既に実装済みです。

やがては、このたすけあいカーをゆっくり自動運転で代替していくことを計画して、いま実証実験を重ねています。

それから、高齢化が進むもう一つの場所として、いわゆるオールドニュータウン。これもたまたま加藤博和先生が先ほど紹介された春日井市の高蔵寺ニュータウンです。日本の三大ニュータウンと言われていますが、まち開きから 50 年以上経過して、高齢化が非常に進んでいる。ここにも Mobility Blend を導入しています。



### MaaSアプリによる商業連携

クーポン連携の施設一覧 (店舗情報、クーポン内容の確認)

出発地・目的地の入力後、公共交通利用、自家用車利用の経路情報提供 (施設一覧からも選択可)

オンデマンド乗合は、クレジットカード決済が可能で、事前設定運賃・キャッシュレスを実現

来店交通手段に応じて、クーポン内容が自動的に変化 (自家用車は20円/回、公共交通利用は最大運賃割引) 対象店舗ではQRでログ把握

高蔵寺のたけがけアプリ KDDI及びKDDI総合研究所が開発

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 20

それから、ダイナミックマップの例として、ゆっくり自動運転は本当にゆっくり走る。時速はいま16kmぐらいで走っています。そうすると、後ろに付いた車がイライラするというので、後ろに車がくっつく前に路肩に寄って追い抜いてもらおうというシステムを、ダイナミックマップを通じてつくった。それが一つのダイナミックマップの使い方、これも実証実験を行いました。

### ダイナミックマップを使った「交通流見える化アプリ」

交通流見える化スマホアプリ (Android版、iOS版)

AWS Cloud: EC2 Ubuntu18.04 (DM2.0PF Cloud) → EC2 Ubuntu18.04 (DM2.0PF Edge)

DM2.0PF Edge → DM2.0PF DMLib (x10) → DM2.0PF Vehicle Ubuntu18.04

DM2.0PF DMLib: 交通流見える化アプリを法人配布内蔵に10台導入 ユーザー側にはアプリの自動運転車の位置情報を配信

DM2.0PF Vehicle Ubuntu18.04: 歩行者自動運転車の位置を配信

DM2.0PF 排他 Raspberry Pi

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics

・自動運転車現在位置の表示  
・スマホ端未現在位置の表示

ということで簡単にCOIの話をしました。このCOIをベースにして、現在、名古屋市や中部地域を先進モビリティ都市にしていこうという動きがあり、これを紹介したいと思います。そして、さらに大きなインパクトとして、リニア中央新幹線が予定では6年後ですが、10年以内ぐらいには通るだろうということで、その活動を進めています。

## リニア中央新幹線とモビリティ産業を活かす名古屋のまちづくり

### ～先進モビリティ都市～

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 22

### 2050名古屋市の自動運転都市の姿

2050名古屋市の自動運転都市の姿

都市中心部 (中央-周辺地域) 駅周辺 (駅前、駅中、駅後) 駅外 (郊外・多摩地区) 駅前 (駅前、駅前)

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics 23

これはCOIの活動の中で名古屋市と一緒にブレインストーミングを重ね、全ての車が自動運転になったとき、名古屋はどうなっていくだろうかということ話し合い、それを絵にしたものです。

この図はごちゃごちゃしているので一部を紹介すると、これは都心部のイメージで、全ての車が完全自動運転になったときです。中量6人乗りぐらい、少量2人乗りぐらいのShared Autonomous Vehicle (SAV) が走り、マイカーのための駐車場はなくなり、そういうスペースはにぎわいの空間になる。例えば、これは久屋大通公園のようなイメージですが、その地下駐車場がSAVの待機場になり、スマホで呼び出せば、ここから出てくるというイメージです。



これは幹線道路です。広小路通、大津通のようなイメージですが、後で紹介する中量の SRT という準幹線的な公共交通手段のようなものも走っている。



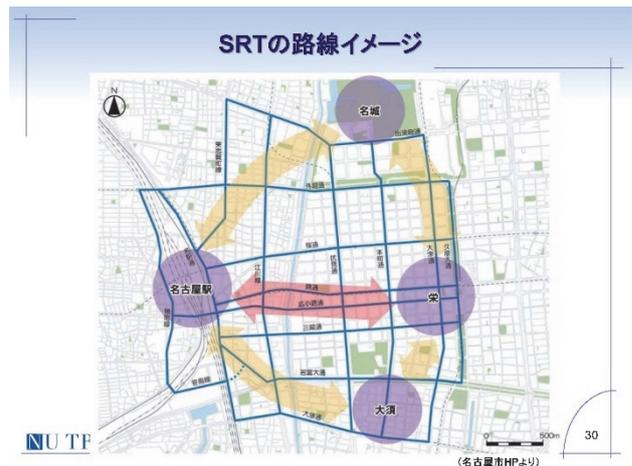
それから郊外では、例えば地下鉄の駅のラッチの外にすぐに SAV が迎えに来て、家まで走っていく。



もう少し細い道路は歩車共存で、そこには中型車以上は入らずに Pod 型の SAV とか物流車、それからキッチンカーのようなものが入り、にぎわいの空間をつくっているというイメージ。



その結果、郊外の住宅地でも駐車場に使っていたスペースは不必要になり家庭菜園になっているとか、例えばこれは宅配便ですが、自動運転を使い、宅配ボックスにロボットカーが宅配する。こんなイメージを名古屋市の皆さんと一緒に話し合っています。



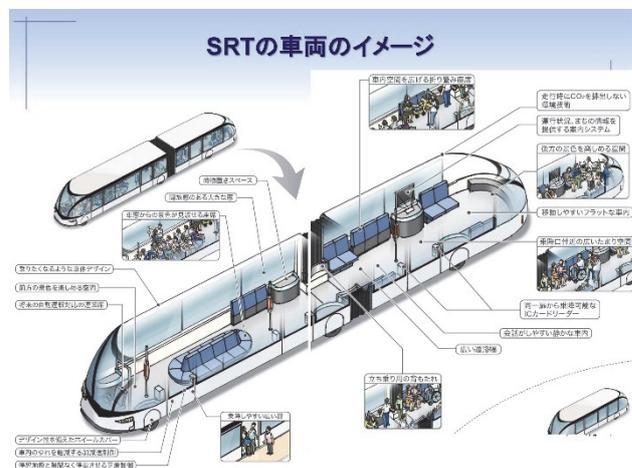
これは少し夢物語的なものですが、これを実際にどうやって実装していくのだろうかということをお話ししたいと思います。その一つが先ほど少し紹介した中量の路面の輸送機関、SRTです。SRTはSmart Roadway Transitというもので、皆さんLRTというのをご存じでしょうが、LRTは線路を引くのでお金が非常にかかる。もちろん、地下鉄に比べれば1/10ぐらいで済むのですが、さらに安く、路面をゴムタイヤで走るのですが、「乗って楽しい、見てかっこいい新型路面交通システム」を開発していこうと思います。

これは走行空間のイメージです。このレーンを専用にするか、優先にするかはまだ決まっていますが、とにかく路線の視認性がよくないと皆さん乗ってくれないということで、今いろいろな知恵を、例えば青色発光ダイオードを線路のように使い、このSRTが近づくとダイオードが光り、車を外に出していく。さらにダイオードを見ながら、自動運転でSRTが走るようなことも考えられるのではないかと思います。

### 名古屋市SRT構想(名古屋市HP参照)

- SRT: Smart Roadway Transit
  - 自動運転や燃料電池などの先進技術 (Smart)
  - 路面を走ることまちの回遊性や賑わいを (Roadway)
  - 従来のLRTやBRTの優れた点をあわせ持ち、「分かりやすさ」「使いやすさ」「楽しさ」を備えた最先端で魅力的な**タイヤベースシステム**の導入
- 玄関性を増す名駅から、名古屋の座敷へ導く**「乗って楽しい、見てかっこいい新型路面交通システム」**

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamic 29



路線のイメージは名古屋駅から栄の東西路線、それから少し不便な名城とか大須を結ぶような循環路線を考えています。こんなLRTに準ずるような車両を考えています。

### SRTの走行空間のイメージ



(名古屋市HPより)

これは停留所のイメージです。

### SRTの乗降・待合空間のイメージ



周辺の案内や運行状況がわかる情報板

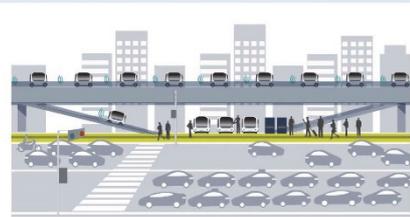
バリアフリーな乗降環境

33

(名古屋市HPより)

さらに先進的な乗り物として、これは中量輸送機関ですが、Personal Rapid Transit ということで、よく SF の世界にあるような小型の自動車がついて走る。物理的にくっつくのではなく、自動運転で車間距離を詰めて走ることにより、満員のバスが3分ピッチ走るぐらいの交通容量をもたらせることが分かっていて、こういうものの開発もいま進めているところです。

### 小型車両を隊列で走行させるPRT



- PRT (Personal Rapid Transit) は、小型EV(1~4名乗り)を専用道路(またはレーン)上で自動運転隊列走行させ、1500人/時(ゆとりとライン高架部のピーク時需要)以上の輸送能力を発揮
- 端末部も将来的には自動走行にするが、端末を手動運転にすれば、ドアツードアで乗り合わない中量輸送システムを早期に提供可能

NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics

名古屋市内でこういう先進モビリティを入れる特区的なイメージ、先導的な地域も必要ではないかと思っていて、例えば SRT が入るような都心部、それからガイドウェイバスが走っていますが、ここも自動運転化するという話があります。この辺を結んでいくと、ちょうど龍のようになるのでイノベーションドラゴンと名付けました。

### 二つのイノベーション特区



NU TREND Nagoya University Transport and Environment Dynamics

35

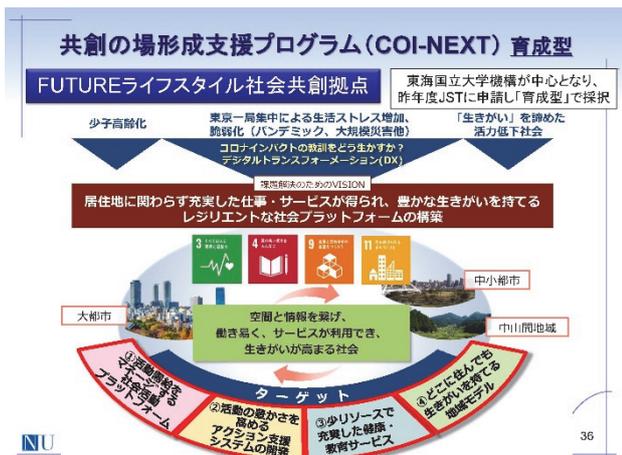
それから、この近辺にはわが名古屋大学をはじめ大学がたくさんあります。それから、星が丘、東山公園のところの再開発も今後考えていきたいということで、ここを結んでいくと、ちょっとひっくり返っていますが、ちょうどシャチホコのようなイメージで、イノベーションシャチホコと言っています。こんな特区的なところをつくりながら、実装を進めていきたいと思えます。

COI の話をしましたが、さらにこの COI は今

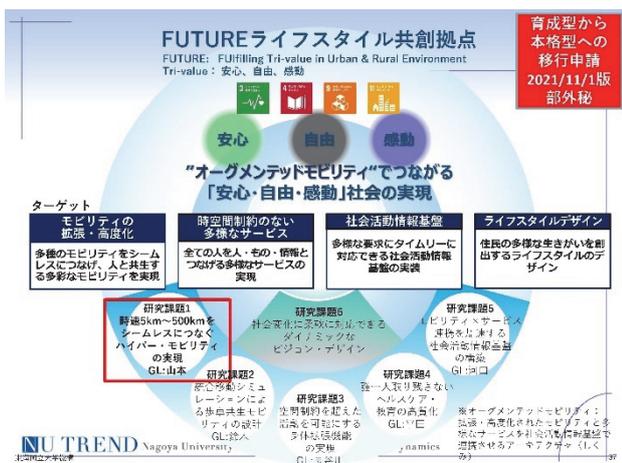
年度いよいよ終わるので、次のプロジェクトとして、文科省はこのイノベーション系のプロジェクトを全部大きくくり化して、これが共創の場になります。通称 COI-NEXT ということで、昨年度、名古屋大学というか、東海国立大学機構が中心となり申請して、育成型で採択されています。育成型は小規模で、いわゆる FS をやるというものです。

り込みをしているところです。ここで目指そうとしているのは新しい言葉をつくったのですが、「オーグメンテッドモビリティ」、モビリティを拡張していく。これにつながる「安心・自由・感動社会」の実現というものです。ここでもやはりモビリティというものが中心で、例えば中心となる研究課題は時速 5km、これは徒歩ですね。500km、これはリニアのイメージです。「時速 5km~500km をシームレスにつなぐハイパー・モビリティの実現」ということで、この研究課題のリーダーは山本教授にやってもらうことになっています。

さらに、COI-NEXT にも参画していただいている中部経済連合会とこのようなプラットフォームをつくりました。中部先進モビリティ実装プラットフォーム、通称 CAMIP といっていますが、この地域のモビリティ研究をやっている主な大学にも全部入ってもらい、産官学のマッチングを行うことにより、中部圏のいろいろなところで先進モビリティを実装していく手助けをしようということです。中経連と名古屋大学の未来社会創造機構のモビリティ社会研究所、私がいま所属しているところですが、この二つが世話役になり、活動を始めています。このキックオフは今年 5 月に行われ、これは中経連の水野会長です。元中部電力の社長であり、東大の土木出身です。これは名大の松尾総長です。こういうキックオフイベントが既に行われました。



ここでは FUTURE ライフスタイル社会共創拠点という名前で活動を始めています。FUTURE ライフスタイルは、後で紹介しますが、未来型のライフスタイルをつくっていこう、でも、やることはモビリティを中心にとということです。



そして現在、育成型から本格型への移行申請、来週が申請書の締め切りですが、これを今、つく

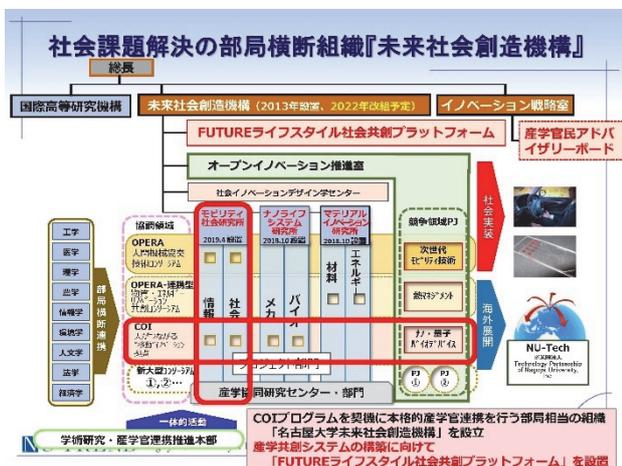




そして、名古屋大学COIが発足したと同時に私も環境学研究科から未来社会創造機構に移籍したわけですが、この未来社会創造機構をさらに発展させていこうということです。ちょうどCOIが始まった8年前から比べると、今はものすごくたくさん、の研究所もでき、発展しているのですが、さらに来年度は改組を行う。文科省の概算要求が通り、人員も増える予定です。

そこでは、目玉としてFUTURE Society Studioという組織をつくり、人文社会系の先生にも入ってもらいます。このように、未来社会創造機構は名古屋大学の産官学連携の総本山として活動していこうという計画になっています。

ということで、時間が来ましたので、私の発表を終わらせていただきます。ご清聴どうもありがとうございました。



### まとめ (1)

- DXはモビリティ分野で顕著に進んでおり、「車のCASE化」という百年に一度の革命期を迎えている
- CASE化の中でも自動運転はインパクトが大きく、完全自動運転レベル5が実現すれば、ライフスタイルやまちづくりまで大きく変化する
  - レベル3やレベル4自動運転を使った移動サービスでも十分に効果的であり、早期に実装しながらユースケースを拡大していくことが重要

## まとめ (2)

- リニア中央新幹線のインパクトも大きく、名古屋は世界に類を見ない人口7千万人のスーパーメガリージョン(SMR)の中央に位置することになる
- 名古屋都市圏は、自動車産業の世界的メッカであり、これを活かした地域の魅力づくりは、リニア中央新幹線インパクトと相まって極めて有効
- 「先進モビリティ都市」を目指すのであれば、将来ビジョンを共有し、その実現に向けての実証実験・社会実装を特区などを活用して推進
- 中経連もこの方向で動き始め、CAMIPが設立されたのでこれを活用していく

## 総合討議

### 中部発：新たな地域・国土のデザインと中部の役割

【戸田】 それでは総合討議に移ります。総合討議の進行は引き続き私、戸田が務めます。パネリストは話題提供いただいた9名の先生方にお務めいただきます。

総合討議の趣旨説明に入ります。今日、三つの観点でそれぞれ話題提供いただきましたが、ごく簡単にキーワードだけ、振り返りのために記載しました。自然災害の脅威に対しては、過去の激甚な災害や今後予想される激甚な災害が危惧されている状況、さらに気候変動という外力増加も危惧される中で国土強靱化あるいは流域治水といった取り組みが進んでいることを話題提供いただきました。

社会構造の変化、多様な価値観については、インフラの少子高齢化は今ちょうど入り口で、これから本格的な時代になるという話。あるいはQOLを用いて持続可能性とレジリエンスの両軸を評価していく、そのためには都市の空間構造の変更は必須だという話もいただきました。また、生態系サービスという多様な自然環境が持つ恵をしっかりと理解して使っていくこと、そのためには需給のマッピングというものが大事になってくるし、都市は郊外あるいは自然環境に対する責任を負っているという視点も大事なポイントだったと思います。

第3部では未来に向けた活力ある中部へということで、カーボンニュートラルの技術について日比野先生から、発電・蓄電・回収・再利用・廃材の全てのサイクルにおいて、今どういう取り組みが行われているのかご紹介いただきました。谷川先生からは物質のフロー・ストックの分析を紹介いただき、物質の滞留時間を長くする、つまりは長く使うことが大事なポイントと感じました。森川先生からは高齢者が元気になるモビリティ社会

という形での社会実装の実例を紹介いただきました。あるいは名古屋の中心都市部に対し、将来どのようなビジョンを描いているか、先端モビリティ都市としての実際のイメージ紹介いただきました。

#### 総合討議

第1部 自然災害の脅威～安全・安心な地域づくり～

第2部 社会構造の変化、多様な価値観～持続可能で快適な暮らし～

第3部 未来に向けた活力ある中部へ

既に話題提供の中で触れていた部分もあるのですが、今回このシンポジウムの企画の一つの大事なキーワードが「中部」ということだと思います。中部は東京、大阪とともに三大都市圏の一つですが、東京や大阪とは違った特徴があり、中部だからこそ発信していくべき、中部が先導していくべき役割がきっとあるのだろうと思います。

#### 総合討議

### 中部だからこそ発信すべき将来像とは？

そういう観点でいくと、総合討議の第1番目の論点として、中部だからこそ発信すべき将来像について、パネラーの先生方からご意見賜りたいと思います。各部ごとにご意見いただくこととし、

第1部では安全・安心な国土という観点で富田先生、第2部からはSDGs、QOLという観点で加藤先生、第3部ではストック型社会ということで谷川先生、そして先進モビリティという観点で森川先生から、この論点についてのご意見を賜りたいと思います。

まず富田先生から、いかがでしょうか。

**【富田】** 中部だからこそ発信すべき将来像ということですが、これに関して、特に皆さんの合意を取っているわけではなく、私個人の意見ということで述べさせていただきたいと思います。まず、中部というよりは日本という特性があり、日本は山があり、世界の平均に比べると急流な河川があり、海に囲まれていて、沖積平野を中心に平野が広がっているという状況なので、いろいろな災害がどこでも起こり得るのが日本の特徴だと思います。

その中で中部を考えると、講演の中で田代先生がおっしゃっていたのですが、やはり広い低平地が広がっているのが中部の一つの特徴なのかと私も思います。その広い低平地の中で、いわゆるものづくり産業、ものづくりの中心地になっている。

その中心も日本国ももちろんですが、世界の中心になっていると思います。オンリーワン企業やナンバーワン企業もたくさんあり、そういった企業がサプライチェーンの中で世界の産業というか、世界の活動に位置付けられている。だから、そういった地域をちゃんと守っていくことが大切かな。

その守り方も人命はもちろんですが、サプライチェーンなどを考えると経済、産業といったものもちゃんと守っていかないと駄目だろう。そのためにはやはりインフラ、ライフラインをしっかりとさせることが大事だろうと思います。

その中では中村光先生もおっしゃっていたのですが、いわゆる開発をするだけではなく、今あるものをいかにうまく使っていくのか、長寿命で使っていくのか。そのためにはちゃんと維持管理をして、補修をしてといったところも非常に大事で、

そういうことを進めることにより地域というか、国土強靱化につながっていくのだろうと思います。

特に中村光先生からもレーザーを使って点検するのだよという話がありましたが、いま言われている Society 5.0 のような話を考えていくと、情報通信をちゃんとうまく取り入れながら維持管理をし、それをライフラインやインフラの整備あるいは維持につなげていき国土強靱化。特に人命だけではなく、産業も考えるところが大事、中部から発信できる一つのキーワードなのかなと思います。

最後に一言。このコロナ禍で人命か、経済かという話がいろいろありました。その中で人命だけではなく、やはり経済も回していかないと生きていけない、生活できていけないこともあると分かってきた。そういった意味においては、日本がちゃんと生きていくためには産業をしっかり守っていくのも大事だろうと思います。

**【戸田】** それでは加藤先生、いかがでしょうか。

**【加藤】** 中部の地域は産業も非常にあり、そういう意味では日本の中では恵まれた地域だと考えています。しかし、これからどうなるか分かりませんし、やはり今こういう状況にある中でやれることをどんどんやっていき、将来に当たっては、この地域が日本もそうだし、世界に対し、このようになっていくといいよとアピールできるようになっていくことが必要だし、できる位置にあると考えています。

そのためにも、私は自分のところでも申し上げましたが、まちづくりをきちんと変えていく必要があると思います。車依存は、過度に依存するのはよくないことはいろいろな計算をしても出てくるし、持続可能とも思えない。そういう意味では、後で森川先生がモビリティについてお話しされると思うのですが、きちんとそういったモビリティの転換を見越して、さらにエネルギー的なことや環境的なことも含めて考え、最終的なアウトカムである Quality of Life を高めるようなまちづくり

を行っていくために、いま転換していくことが大事だと考えています。

それに当たっては、私自身がいろいろなところで感じているのですが、Technology driven になりすぎないことが重要で、こんな新しい技術ができたから導入すると言っても、ついてこれない場合もあるし、もともと「そんなの要らないよ」ということもよくあります。そうするとその技術が、本来ポテンシャルが高いものだったとしても、ここで使われなかったので駄目だという烙印を押されると、結果的にそこで止まってしまうことがよく見受けられます。

これは工学の人間全体として心しておくべきことだと思うのですが、そうならないように Customer driven な要素も必要です。つまり地域の皆さんと、「こんな新しいことがあるのだよ」「これを使うと何ができるのだろうか」ということをきちんと話していく中で実現していき、最終的には中部は産業があるから活発でというだけではなく、そうやってすごく魅力的なところに結果としてなった。だから、人が集まってきて、そこに産業が生まれる。そういう地域になっていくことが必要だと考え、そのサポートができたらと思います。

【戸田】 谷川先生はいかがでしょう。

【谷川】 私も富田先生、加藤先生がおっしゃったとおり、ものづくりのまち名古屋にあっても、住んでいる方が主体となり、その将来社会をつくっていくのはとても大事な話である一方で、歴史的に見ても名古屋の地域、そしてグレーター・ナゴヤのエリア全体を見回すと、産業が日本の中で興ったところの中心部になると思います。

私は以前、イギリスに少しいたことがあり、イギリスの中でも例えばシェフィールドはマンチェスターと並び産業革命の中心地になったところですが、シェフィールドも名古屋とかなり近いなと思うのは、やはりものづくりがとても盛んな一方

で、住民の方がそれを受け入れるものづくりをしている。かつ、最近だと、今日お話ししたストックは測るのがなかなか難しいのですが、そのストックをうまく測るための例えば機械のようなもの。それもモビリティを使い、新しい車をまちの中に放しておいて勝手に測っていき、それをデータ化する、指標化する。もしくは下水道管の中にロボットを放して下水道管が傷んでいるところを勝手に測ってくる。そのデータを収集して行政に生かすようなことを、実際シェフィールドの中でやっています。

向こうの土木がやっているのも、こういうところともうまく連携して、新しいものづくりと住民参加型のようなところ、そこに行政がうまく乗ってくるようなストック型社会を実現できたらいいかと思います。

【戸田】 森川先生、いかがでしょう。

【森川】 中部ならではのというのは私のプレゼンの中で十分話したかと思いますが、やはりこの地域はモビリティ産業のメッカです。いま日本の経済は一本足打法と言われるぐらい、本当に自動車産業のみと、これは少し危うい状況です。トヨタ自動車でも既存のコンセプトの車をたくさん売り、今年度も最大の収益を上げていますが、これはいつまで続くか分からないことを考えると、やはり既存のモビリティを生かしながら、新しい形のモビリティをつくり、これを産業振興にも使う。そして、それをまちづくり、そして市民の方の QOL を上げるほうにも使うという一石二鳥のことがやれるのが、この中部地域だと思います。

それがいわゆる Augmented Mobility、モビリティを拡張して、車で動くだけではなく、サービスが動くとか、いろいろな IT を使いながらモビリティを補完していく。モビリティを拡張していきながら、そういう産業をつくっていく。それを市民の Well-being に生かす。これは本当に中部だからこそやるべきことではないかと思います。

【戸田】 そのほか、パネラーの先生でどうでしょう。中部だからこそ発信すべき将来像について、コメント等ありますか。

まず、私は今日9件の発表を聞き、実に多様な切り口で講演いただいたと思います。中部の地域は実際にそういった多様な状況が混在している。東京の将来像だとかなり人工的で先進的なものだけをイメージしてしまいましたが、中部だとその中に広大な低平地であったり、自然共生という側面があったりする。あるいは先進的な取り組みのモビリティの中でも森川先生から紹介があったように、都心部でのモビリティの話もあれば、郊外での高齢者が元気になるためのモビリティという形がある。

世界に対し、新しい社会像を発信していく上で、もちろん東京型のような先進型を追求する都市もいくつかはあるのだと思いますが、やはり多くの都市が目指せるような将来像を見せていく観点からは、非常に大きな多様性を持っている中部というのは、東京、大阪にない役割があるし、中部こそが引っ張っていく役割があるように感じました。

総合討議

## 将来像の実現に向けて克服すべき課題は？

それでは次の論点に進みたいと思います。将来像に向かっていくためには様々な課題があると思います。細かく挙げはじめれば切りがないと思いますが、これが非常に大きい課題だ、と強調すべきものについてご意見賜ればと思います。

この論点について、第1部のパネラーからは地震・災害に関して報告いただいた野田先生と、風水害で話題提供いただいた田代先生。第2部からはインフラ長寿命化で話題提供いただいた中村光先生と、自然共生で話題提供いただいた林先生。第3部からはカーボンニュートラルで話題提供いただいた日比野先生と、先進モビリティで話題提供いただいた森川先生からコメントをいただければと思います。

まずは野田先生、いかがでしょうか。

【野田】 この将来像をどういうところに持っていかも大事なことだと思いますが、富田先生が防災のほうの話でおっしゃったようなことを将来像として考えることは私も同感であります。そういう意味で、防災・減災は人命、財産だけではなく、なりわい、産業を守るとはとても大事なことです。これは地震だけではなく、どんな災害でも共通するのですが、そういったところを守らないと、なりわいを守らないと、早期の復旧にも向けていけない。そして、復興にもつながっていかない。人が生活できていけない。

そうすると、その後、国際化がそれで始まると言う人もいるぐらい、外から外国人がたくさん来て、日本は本当に維持できるのかという話もあるぐらい、南海トラフ巨大地震のときには人が生活できていかなければいけない。そういう意味で本当になりわいを守っていかなければいけないと思います。

私、4月に減災連携研究センターから土木に戻ってきた身としては言いにくいのですが、減災連携研究センターでは社会、特に産業の方、民の方、そして官の方が連携する場を提供して、その中で一緒に考えていくような取り組みがなされています。連携はとても大事なキーワードでありますし、前のセンター長、福和先生ですが、やはり地元に着目して、そういう問題解決をしていく姿勢であり、その取り組みはとても重要ではないかと思えます。

さらに防災・減災については、時系列的に見ても事前、事中、事後で幅広いいろいろな話がありますし、ステークホルダーが非常に多様なので、本当にいろいろな課題は多いと思います。しかし、それをちゃんと全体的に見渡していくような総合的な立場でやれるのが例えば減災連携研究センターだったり、あいち・なごや強靱化共創センターがそうになっていくのではないかと期待しているところです。

そういったいろいろなことがあるので非常に難しいのですが、大学として、学術として、研究としてという、中村先生も最後のまとめに書かれていましたけれども、引き続き基礎的研究はわれわれ大学にとって大事かと思えます。特に防災は事象が起きて、それが終わった後に「こんなことは考えていなかった」というようなことが結構多く、後追いのこともあります。

そういうことがあまりないことだったり、あるいは今日も富田先生からもありましたし、私のほうもそうだったのですが、不確実性も非常にあるので、そういう中から本当に何があるのかということをやっと見極め、予測し、そして対処に向けていく。そういうミッション、使命があるのではないかと思います。

今まで常識だと思っていること、例えば都市開発、先ほど林希一郎先生から里山の話が少しありましたが、ああいうところに人口がどんどん増えることにより開発をする。開発することにより、そこを平地にする。そうすると谷埋め盛り土ができる。そういうところに地震が起きて滑るとか、雨が降って滑ることが実際、頻発しています。そういうこともちゃんと明示して、こういうところを改善していかなければいけないと言うのが、われわれ研究者、大学の人たちの一つの役目ではないかと思えます。

ほかにもあると思いますが、とりあえずこの辺で。

**【戸田】** それでは田代先生、お願いします。

**【田代】** OB と言っていいのか分かりませんが、野田先生から減災センターに対する期待とエールと、それからバトンをいただいたような気もします。おっしゃるとおりというか、われわれ自身も来年度から改組して従来の3部門を2領域に改編して、内部の教員の中での連携、総力をより結集することにより、さまざまな問題を解決していけるように、特に防災・減災が中心になりますが、体制を整えようとしています。

そういう意味で、つながり、それからネットワーク、そういったものをこれからますます意識して対策をしていかなければいけないのかと思えます。大学を含めたところで言うと産官学民、既に先生方はそういうプロジェクトをたくさんやっておられると思いますが、それだけではなく、専門領域を横につなぎながら、さまざまな問題を解決していくことが大事だと思います。

また今日、私の話題提供で治水対策がこれまでの河川の線に沿ったものだけだったところから、横に広げて流域治水にというような展開もなされていく中で、ますますそういった意味でシームレスにいろいろな問題に対応できるような仕組みを考えていくのが一つ大事なことかと思えます。

社会の機能を維持する意味でも、インフラ、ライフライン、ネットワークとして機能していることもあるので、そういったところを一つ挙げておきたいと思った次第です。

もう1点、別の観点で加えさせていただきたいのは、私が水の専門だということもあるのですが、将来に向けては気候変動の問題がやはり重視しなくてはならない一つのポイントになってくると思います。

また、土木系にいる立場からすると、インフラをどうやって国土管理に生かしていくのか。国土デザインという言葉もありますし、国土デザインという研究室も確かあったと思うのですが、例えば気候変動下でたくさん雨が降るようになり、洪水外力が非常に大きくなるから、では、河川の器

を大きく、堤防を高くしたらいいのかというと、そういうことでもないですし、その辺の葛藤が流域治水にも表れてきた状況かと思います。

そういう意味で言うと、土木という分野はこれから国土をどうやってデザインしていくのか。林先生も自然共生という観点をおっしゃってましたし、風水害を防ぎながら、あるいは災害全体をうまく防ぎながら、豊かな自然、美しい自然と共生して、なりわいを営んでいくことが中部の中での重要な課題になってくるかと思います。その辺りを達成するために、それぞれの専門を生かし、どんなことができるのかということを改めて見直すのも大事なポイントかと思いました。

【戸田】 それでは中村光先生、お願いします。

【中村】 インフラを長期間使うということに関連して、富田先生からは先ほどしっかりと維持管理をすることが災害から社会を守ることで非常に重要であると。それから、谷川先生からはストックを活用することは維持管理が前提となるという話を頂きました。

維持管理をすることでインフラの施設を長く保つことはいいのですが、今までの経験で何もしなければ悪くなることだけは確かであるので、何らかの対処をしなければいけない。では、対処をする側は劣化をしないのか。対処をする側は劣化をしないのかということ、人口が減り、国の予算も減る。あるいは管理者側としても技術者が減るようなことになると、インフラの劣化よりも管理側の劣化のほうが、もしかしたら早いかもしれません。管理側が長寿命化できない中でどうインフラを長寿命化するかということになると、少ない管理の中でも出来るような技術開発が必要です。ただし、恐らく技術だけでは対応できなくて、そういう中でもできるようなシステムを考えていかなければいけないのかなと思っています。

中部地域のいいところは、先ほど森川先生が地域でいろいろな取り組みをやられていることを紹

介いただきましたが、東京や大阪のような大都市よりも、自治体などとかかなり密接にいろいろなコミュニケーションができる場所かと思っています。当然、地方に行けば行くほどできるかもしれないませんが、ある程度の大都市を抱えながらできる場所はちょうど名古屋がいいぐらいかなと思っています。そのメリットを活かし、私たちは技術の側面だけではなく、システムという側面も積極的に関わっていくことが必要かと思っています。それからもう一つ、では、インフラを減らせばいいのではないか。インフラを管理する側が減るから、インフラも減らせばいいじゃないかという議論がありますが、これはなかなか難しい。いま持っているものを誰も手放したくないということで、そういう議論は当然考えておかなければいけないのですが、今あるものをどのように対処するかということで知恵を絞らなければいけない。このようなことを私たちが、やらなければいけないことではないかと思っています。

【戸田】 それでは林先生、お願いします。

【林】 私は自然共生という話をさせていただいたのですが、皆さん発表の中で気候変動とか、いろいろな環境問題がかなりの話題として出てきています。環境問題とか持続可能性とか、概念としては相当前に世界的にも認識されていたものが、だんだんすごくいろいろな人に認識が広まり、政治とか政府とか、国のトップの意思決定者にもすごく認識されてきました。要するに、われわれの社会の中で非常に重要な概念として、社会を動かしていく上でそのように認識されてきたのかと感じています。

その上で現状としては、やはり抜本的な解決策がまだうまく出ていない部分もあるかと思っています。特に自然の話として、社会に取り入れる元の自然にあるものをどう増やしていくか、それをどう維持していくのか。日ごろ人間社会で使っているものを、いかに持続的にしていくのかというような

ところが非常に重要という話をさせていただいたと思います。

今の日本を含め、世界全体で、そういうものが存在しているのは地方や大都市部でないところであり、そこでの人口減少や管理不足、資金不足等が大きな問題になっています。環境問題などの認識が変わっていくことがすごく重要になってきます。そのように社会が少しずつ変わっていくようであれば、実は自然がある方が有利になるとか、豊かになるとか、そのようなことになっていく可能性もあるのかなと思います。

そうしないと自然が荒廃して無くなり、無くなって初めて困ってしまうことになります。その前に何かやる必要があると思います。

中部地域は、実はそういう面では、山もすごく高い山があるし、起伏も富んでいるし、川もすごくきれいだし、資源に恵まれているので、そこをうまく生かしていく。今後、恐らく社会的にも持っていること自体が重要になってくると考えています。

また、大都市名古屋がある。これも実は大切で、大都市があるからこそ、誰がその恩恵を受けているかという結構分かりやすい。そういう意味において、大都市があり、しかも自然が相当豊かである。その関係が非常にクリアな中部は、そういうことを社会として実現していく上では非常に重要な位置付けにあるのかと思います。

【戸田】 それでは日比野先生、いかがでしょう。

【日比野】 私からはカーボンニュートラルの実現に向け、3点ほどコメントさせていただきます。

まず、一つは効率だと思います。私が学生のころ、もしくは助手のころ、二酸化炭素のジレンマというのがあり、二酸化炭素を処理するのにエネルギーを使ってはいけないと言われていました。ようやく今の時代になり、再生可能エネルギーが使われる道筋ができてきたわけです。ただし、では、湯水のごとく再生可能エネルギーを使っても

いいのだと言うと、そういうわけでもない。2050年までの間に最終的に生き残るのは最も効率のいいものである。したがって、強く効率というものを意識して研究開発をしていかなければいけないだろうということです。

もう一つは人材育成だと思います。共同研究しているメーカーを見てみると、サステナビリティですとか、カーボンニュートラルという新しい部署が出来上がっています。出来上がってはいるのですが、その人材はそういう教育を受けてきていない方々です。例えば極端な話だと、いま自動車部品メーカーと付き合っているのですが、元内燃機関をやっていた人たち。その人たちが、仕事がいよいよ余ってきたので異動してきている。したがって、大学で脱炭素というような教育をしっかり行って、そういう人材育成をしていかなければいけないだろうなということです。

最後の一つは、私は経営者の姿勢だと思います。従来の研究開発は出口を急ぐ傾向にあったと思います。共同研究などをやっても2~3年しか待ってくれない。よく待って5年ぐらい。そこでもう結果を出せというようなことをおっしゃるわけです。

ところが2050年という結構長丁場であるので、今の段階で例えば、最初の話と矛盾するかもしれませんが、少々効率が悪いからということで芽を摘んでしまうようなまねはしないでいただきたい。長丁場であるがゆえに、最終的に生き残ればいい。そのような姿勢で上司、上の方にうまくマネジメントしていただくことが、カーボンニュートラルにとっては非常に重要かと考えています。

【戸田】 それでは森川先生、お願いします。

【森川】 交通システムの自動化とかシェアリングのようなことにフォーカスしてお話しすると、例えば完全に公共交通がなくなってしまった田舎で、先ほど紹介したような住民同士のシェアリングをやるとか、自動運転のバスを入れる。これは

恐らく問題ないのですが、普通のところはだいたい既存の事業者、交通業者がいるわけです。ここと必ずバッティングが起きます。

われわれも地域に入ってシステムを入れるときには、必ず事業者と話し合い、うまく折り合いをつけるのですが、そこが先ほど Mobility Blend というところで紹介したように、地域の交通を破壊するのではなく、持続的イノベーションというか、これを目指しているということです。例えば Uber のようにドーンと黒船のようにやってきて、地域のタクシーとかバスをぶっつぶすのではなく、うまくブレンドの割合を変えながらやっていこうとする。それでもやはり、いまギリギリのところまで事業をやっている交通事業者に対しては、なかなか説明が難しく、われわれの商売の邪魔をする気かというような意見が必ず起きます。

しかし、その交通事業者も今やドライバー不足ということで、あと 10 年先、20 年先にはどうなるのだろうという不安を皆さん持っているので、当然、例えば自動運転化に興味を持っているけれども、今々の従業員の方たちの食い扶持を壊すわけにはいかない。こういうジレンマの中で交通事業者もやっている。この人たちとうまく話し合いながらということを日々やっていて、この辺の難しさ。

こういうところは、恐らく加藤博和先生は本当に公共交通の現場に入って一生懸命やられていて、一番よくご存じだと思います。そういう土木と云っていいのか、計画系ではよくあるのですが、地域の商売をやっている人たちと折り合いをつけながら、破壊的ではなく、うまく社会を変えていくという課題があるかな。

これは計画系だけではなく、例えば防潮堤をつくるとか地盤改良するのも、今後、技術だけではなく、防潮堤をつくることにより、その地域の人たちの生活がどう変わるかというようなことも、土木の人たちが一緒に考えてやらなければいけないだろうと思います。

ですから、土木はやはり総合工学ということで、

しかし、それだからこそ非常に難しい。いろいろな人たち、ステークホルダーの利害関係を調整することも含めた課題をいま非常に大きく感じています。

【戸田】 それではいただいたコメントを紹介します。「名大土木系が一層発展し、国際協調の中核を担われることを祈念します」ということです。

名大土木としては、国際化にも力を入れており、土木教室全体を横串で通す軸として「アジア型土木の国際展開」と「各分野の先端的な研究に関する国際展開」の二つに取り組んでおります。本日のシンポジウムでは紹介できませんでしたが、そういった教室の動きを報告できる機会をつくれればと思います。

本日のシンポジウムの最後に、多くの先生方から人と人のつながり、人材育成に関わる課題を指摘いただきました。また、研究や技術を地域実装する際は、地域の事業者とのファシリテート、コミュニケーションをどう取るのかが大きい課題だと指摘いただきました。大学で土木に関わる研究・技術開発を進めていく上でも、基礎的な研究をする一方で、地域の課題を本当に解決しようと思ったら、実際に地域に入っていく。その上で、何が基礎研究として望まれているのかということ視座を持って必要とされている基礎研究、あるいは実践研究を展開することが、技術と社会をつないでいく土木の役割として大事なことだと感じました。

以上で、本シンポジウムを終えたいと思います。ありがとうございました。