

インフラの危機



東京大学大学院
教授
羽藤 英二 氏

プロフィール

東京大学大学院工学系研究科教授。専門は都市工学、交通計画、防災計画。人の行動メカニズムの分析を基盤とし、AIなどを活用した交通ネットワークや都市空間のシミュレーション研究を推進。国土交通省の社会資本整備審議会や経済財政諮問会議の専門委員、岩手県の津波復興技術検討会議委員など歴任。現在は一般社団法人 計画・交通研究会の会長を務める。

1 インフラの危機：水災害と交通流の変化

1.1 危機＝水災害の変化

本日はこのタイトルでお話させていただきます。

インフラの危機について考えた時に、水災害からどういうことが言えるのかをグラフにしました（図1）。戦後から平成30年までの水災害の死者数が縦軸で示されていて、死者数が減ってきているのが分かります。水災害の死者数が減ってきているということは、インフラの危機と言った時に、その危機の中身は明らかに変質していることが推察できます。国土交通省、建設省河川局がこの整備を続けてきたから数が減ってきていていることは間違いないありませんが、このような状況で、昔と同じようなインフラ整備をするわけにはいかないことが分かります。ではどうすべきなのか、我々には問われています。

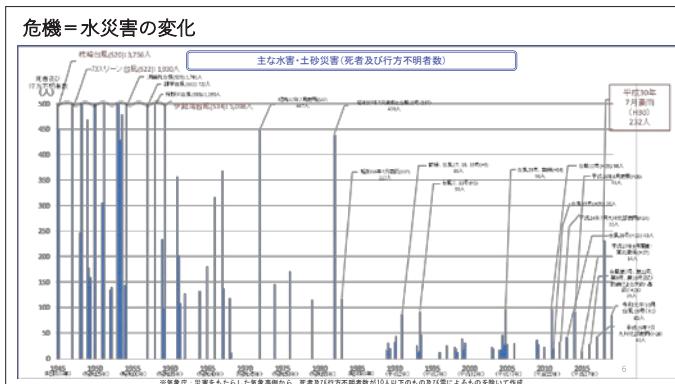


図1 危機＝水災害の変化

1.2 危機＝交通流の変化

次の危機は交通の危機、交通流の変化です。交通事故の死者者数も著しく減少しています（図2左）。原因はドライブレコーダー、スマートフォンの普及など様々な要因が考えられますが、日本の道路の上で交通事故によって亡くなる方が減ってきていることは、水災害と同じような状況です。しかし、図2右側のグラフがかなり重要です。縦軸に速度、左側が古い時代、

右側が新しい時代です。今日の研究発表でもこの辺り議論になると思いますが、速度が落ちてきています。速度が落ちてきているということは、同じ道路でさばける交通量が減っているということです。高速道路を運転している方は分かると思いますが、ACC(Adaptive Cruise Control: 先行車との車間距離を自動で保ちつつ設定した速度で追従走行する機能)を使い、車間距離を空けてできるだけ速度を一定にしている車が多いです。さらにドライブレコーダーで測られているということも手伝ってドライバーが安全志向の運転になったことで、スループット、すなわち流せる量が減ってきているのです。道路の交通処理性能という観点で見ると、低下しているという変化が実際に起きています。

危機＝交通流の変化

- ・交通の質の転換（事故の減少）
- ・交通量低下の正しい理解
- ・需要予測（のみ）高度化の時代遅れ
- ・自動走行機能の普及

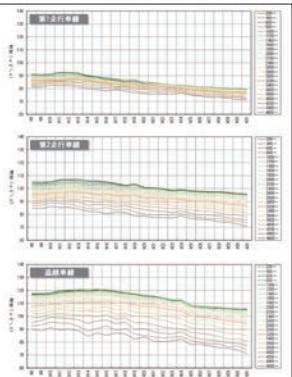
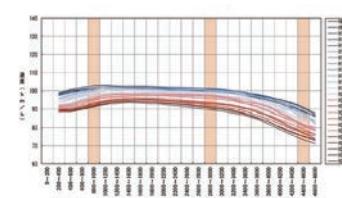


図2 危機＝交通流の変化

1.3 インフラの危機への専門家の見解

2025年1月、埼玉県八潮市で道路の陥没事故が発生したように、我々は非常に大きなインフラの危機に直面していることは間違いないません（図3）。これに対して、様々な専門家の方が様々な見解を述べています。城西大学学長の藤野陽三先生の認識は、「前例のない重大な事故。多数の埋設管や地盤の軟弱さなど多様な要素が加わっていて、地中インフラに起因する事故原因の究明には第三者による客観的な評価が必要である」とされています。今後このインフラの事故においても、事故調査委員会のような第三者機関が必要になってくるのではと思え

るような事態で、原因がよく分かっていませんが、下水管が破裂して大きな穴が一度に開いた、もしくはつなぎ目などに小さな隙間が空いて土砂が入り込み、穴が広がったという2つのシナリオ設定をされています。現在調査中だと思います。

一方で政策研究大学院大学の家田仁先生は、「2012年の笹子トンネル事故を契機に、『メンテナンス元年』と位置づけて政策を進めてきたが、これでもまだ万全ではなかったのか」という思いが強かったようです。「様々な専門の方が個別に取り組む時代ではなく、民間、国民の協力が必要だ」と当初から明確に言われています。



図3 八潮の道路陥没現場

1.4 堀屋太一氏の未来予測と学ぶべき点

さて、堀屋太一さんの小説「平成三十年」をご存知でしょうか（図4）。1997年から連載を開始して平成30年の未来予測をした、非常に面白いSF小説です。そこで何もしなかった日本がどうなるかを未来予想したもので、制度劣化、人口減少、創造力の喪失という3つの危機をポイントに挙げ警鐘を鳴らしています。予測した結果がほぼ現代に当てはまっています。制度劣化は量に依存した機構、時代に合わないことを継続する、変化に対応できなくなることです。人口減少は財源不足、人手不足、豊かな地域資源の喪失です。創造力の喪失は閉鎖性と内輪ノリ、意外性を無視、寛容さの喪失を言っています。インフラの危機にあたって我々がどうすべきか、どうすべきだったのかを考える時に、これら3つの項目がいずれも当てはまります。インフラの危機に向き合う時に闇雲に未来に向けて威勢の良い言葉をかけるのではなく、過去からしっかり学び、ヒントを見つけ出しながら、次にこの危機を乗り越えていくことを考えるべきです。堀屋さんの小説からそれを思いました。

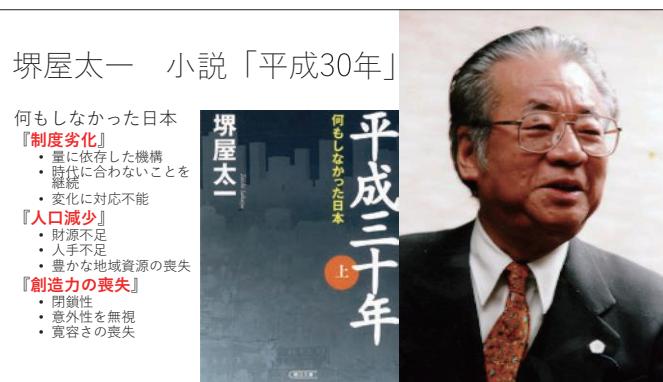


図4 堀屋太一 小説「平成30年」

1.5 国際情勢と日本のイノベーション

アメリカはユネスコからまた脱退するとニュースになっていることからも分かるように、アメリカはSDGsや気候変動についての国際社会の方針が、アメリカファーストの考え方と合致しないとしています。我が国多くの政策を国際的な観点から位置づけようとしている中で、アメリカ、中国、ロシアといった国々との関係の中で混迷が深まりつつあるという状況です。政治的な不安定もあり、日本のイノベーションをどうシビルエンジニアリングしていくのかが、厳しい状況の中で問われていると言えます。

2 過去の災害から学ぶ

2.1 東日本大震災の教訓

過去、先人たちがどういうことがしてきたのかを、我々はもう一度見直すべきです。東日本大震災の際には、津波という危機に直面しながらも、くしの歯作戦をとるという判断ができたことはすごかったと思います（図5）。間違いなくこれからも災害は起こり得て、その時にどういう対処をするのか、ヒントを我々に投げかけてきていると思います。



図5 くしの歯作戦で啓開された道路

2.2 ふるさとを去る人々

一方でその啓開とその後にどういうことが起こっていたのかは、さらに考える必要があります。能登半島地震でも見られましたが、大きな特徴は故郷を去る人々、遠距離避難がありました。故郷を離れる人々もある程度肯定していく形です。

陸前高田では発災直後、人口流出が月300人に達し、5年で町が消滅するのではという危機意識の中にありました。30年後の人口予測は震災前は67%になると予想されていましたが、東日本大震災後の予測では51%になると予測されています（図6）。人口減少に対して激甚災害対策特別緊急事業や災害復興で様々な技術を駆使して故郷を元のように戻そうと思う一方で、人々は移動します。町の住民の規模感をどのように設定して復興をすればいいのかという問題があります。



図6 ふるさとを去る人々

2.3 膨大な事後復興の限界とこれからの復興

写真は陸前高田で復興を手伝ったメンバーです（図7）。これだけのメンバーで陸前高田市の復興計画を当初から立てていましたが、この中に市の職員はわずか3人しかいません。復興の担い手もこれから不足してくるでしょうから、AI等を使いバックオフィスの効率化を図ることはまず必要だと思います。これ以上の担い手がない状況で、東日本大震災は復興推進地域の面積が阪神淡路大震災の267倍あったわけですが、それを上回る重い負担が現場にのし掛かってきています（図8）。やはり災害を日常化し、事前に何ができるのかを考え、日常の業務の中にどれだけ復興に繋がる糸口を設けられるかが極めて重要です。



図7 陸前高田市の復興計画に携わったメンバー

膨大な事後復興の限界とこれからの復興

267:1

陸前高田 : 阪神淡路

図8 膨大な事後復興の限界とこれからの復興

2.4 低地の都市計画はどこまで肯定できるか？

例えば、低地の都市計画はどこまで肯定できるか。水災害のリスク対処は基本的には高台移転となると思いますが、被災地である図9の陸前高田では、事前にどんな対策ができていたのかと考えた時に、現実には都市は低地に移動していました（図10）。陸前高田の震災前の風景では、低地に都市が高台から移転していました。なぜかというと、まず鉄道が低地に置かれたことで、駅の周りに市街地が形成され、さらにバイパスが海側に作られたことによって市街地がリスクの高いところに追いやられていきました。これが都市計画の失敗だったかどうかの判断は分かれるところだと思います。



図9 低地の都市計画はどこまで肯定できるか？（陸前高田）



図10 (現実には) 低地に移動していた都市 (陸前高田)

2.5 高台の事前復興都市計画は可能か？

一方で、陸前高田市は何もしていなかったわけではなく、高台に区画整理事業で給食センターを置いていました（図11）。発災後、市役所が被災したため災害対策本部がここに設置されました。これがなかったら対応ができなかつたと思います。少なくともこの区画整理事業を高台でやっていたことが災害復興の役に立ったのです。この高台の区画整理事業もそうですが、このような事業が事前に行われていたこと、これらは今後の我々の危機に備えるインフラで学べる点です（図12）。

高台の事前復興都市計画は可能か？
高台の区画整理事業＝給食センター

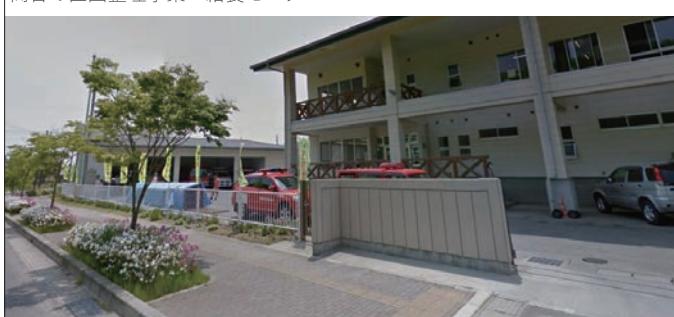


図11 高台の区画整理事業＝給食センター

高台の区画整理事業



図12 高台の区画整理事業

2.6 大船渡の高台移転

隣の大船渡は陸前高田とは全く違います。大規模な高台移転が進んでいました（図13）。1960年のチリ地震津波の後に国道45号を高台に付け替えていました。陸前高田とは逆で、国道を高台に置いたことでその高台が便利になり、そこに市街地が発展していました。

大船渡：国道45号の付け替え（高台移転）



図13 大船渡：国道45号の付け替え（高台移転）

2.7 町は移動するか

町は移動するのか。なかなか難しいですが、大船渡は国道をトリガーに使うことで市街地を動かすことに震災以前に成功していました（図14～16）。1953年から1999年の大移動で、昔の集落の中にインフィル型で市街地が高いところに形成されるようにしたのです。同様のことはこれから道路計画や都市計画でやっていける可能性もあります。さらにそれをうまく使うために鉄道を海岸沿いに通すのではなく、ルートを変えられるようなBRTを地域の公共交通として埋め込むことによって、都市の変容に対応しうる新しいタイプの事業を展開しました（図17）。以上のように、都市発展圧による災害リスクの増大、インフラ強化型都市の被害、インフィル型都市計画の事前復興としての機能といった点が、これから我々が学べる点です（図19）。まとめます。海岸保全施設は破られる。都市は移動しますが、時間はかかります。低地の移動の支配要因は交通基盤です。高台の事前復興は有効です。インフィル型の事前復興を支える交通計画は重要です。これらが東日本大震災から学べる点です（図19）。

町は移動するか？



図14 町は移動するか？

町は移動するか？（1953-1999の大移動）



図15 町は移動するか？（1953-1999の大移動）



図16 地域形成軸の事前復興
(国道の県道付け替えと市役所高台移転)

やわらかい都市軸（BRT）への転換
(維持コストの抑制)



図17 やわらかい都市軸（BRT）への転換

土木学会論文集D1(土木文), Vol. 79, No. 1, 47-58, 2002.
津波・水害常襲地域における都市形成と
災害後の都市計画的対応に関する比較分析

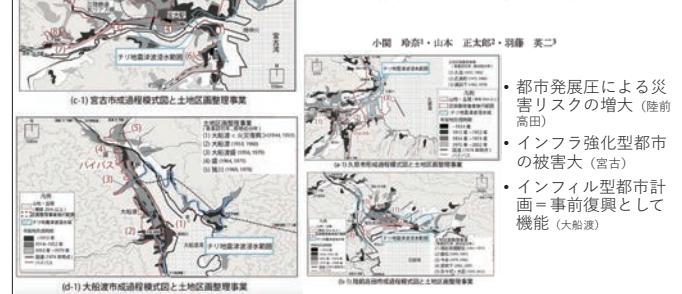


図18 津波・水害常襲地域における都市形成と
災害後の都市計画的対応に関する比較分析

津波常襲地域の都市計画から考える

- ・海岸保全施設は破られる
- ・都市は移動する
- ・低平地への移動の支配要因は交通基盤
- ・高台の事前復興は有効
- ・インフィル型の事前復興を支える交通計画が重要

図19 津波常襲地域の都市計画から考える

3 過去から学ぶ流域治水

3.1 流域治水とは何か？

ここまで津波の話をしてきましたが、今度は流域治水に話を移します。土木に携わる人は図20のような風景を見て、魅了される人が多いと思います。島根県にある散居村の斐伊川築地松です。本当にこのように植えられ、地盤が補強され、少し高い場所に住宅が点在している村落の風景は、それ自体が流域治水の象徴的な光景だと考えます。



図20 流域治水とは何か？散居村斐伊川築地松

3.2 減勢治水の河川伝統技術

このような風景だけでなく、例えば築堤、輪中堤、水屋、水塚、段蔵など、様々な地域で少しだけ石を積んだり、蔵を高くしたりといった工夫が見られます（図21）。東京の赤羽などでも多く見られますが、実際に歩いてみると非常に興味深く、「このようなわずかな高さを活用して治水を行ってきたのだな」と、レベル1や2といった大規模なものではなく、1.1、1.2、といった細やかな規模で対処する仕組みが、我々の祖先によって築かれてきたことに学ぶべき点は多いと感じます。

減勢治水の河川伝統技術：築堤や輪中堤、水屋や水塚、段蔵

川のもの自然の力をを利用して治める減勢治水への配慮や、河川伝統技術として築堤や輪中堤、水屋や水塚、段蔵などの水防建築、地域社会の規範意識や相互扶助の自助・共助の習慣=災害文化は、地域全体の守りと各戸の備えから構成される

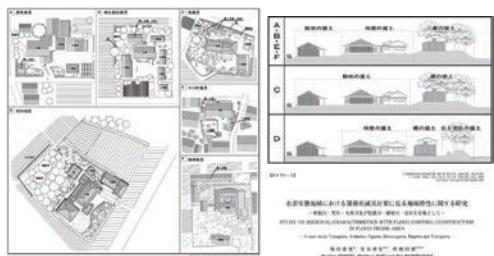


図21 減勢治水の河川伝統技術

3.3 元禄出雲図で見る松江の事例

こうした近世的な、徳川土木的な、あるいはローカルな技術に対し、ここでは少し島根県の松江の事例について触れたいと思います（図22）。図23は「元禄出雲図」です。近世の地図においては、田んぼ単位、集落単位、あるいは流域単位で統治が行われていたことが、この地図を見ても分かります。現代ではこのような地図はあまり見られず、むしろ交通ネットワークの図で地域を理解することが多いですが、近世にはこのような流域的な理解がされていたことがわかります。このような空間構造の中で、流域治水的な古くからの治水・減水のための技術が発展してきました。

水害常襲地域で、
都市/地域は近世-近代-現代をどう生き延びてきたのか?

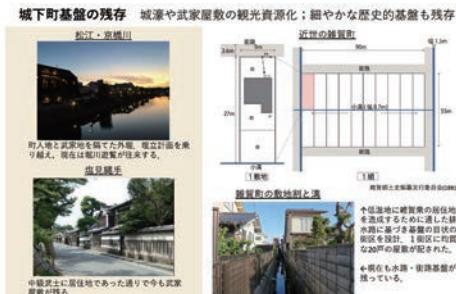


図22 水害常襲地域で都市／地域は
近世-近代-現代をどう生き延びてきたのか？



図23 元禄出雲図

3.4 災害の影響を強く受けて更新される都市基盤

一方、これが近代へと変化する過程では、交通革命がありました（図24）。水運から鉄道へ、そして鉄道から自動車へと変化し、これらが松江の町に取り入れられることで、地域のリスクとの向き合い方や現れ方が大きく変わってきた歴史があります。この歴史を踏まえながら、我々は地域の中でどのように流域治水への共通理解を深めていくべきか、ということが問われています。

交通革命とともに、災害も形を変えて現れました。明治時代の松江では、明治26年の大洪水、白潟の大火、末次大火、そして再び大洪水と、洪水と火災が繰り返し発生しています。これらに対処する形で都市基盤が大きく更新されてきました。

このような都市の見方は、東京でもどこでも同様で、災害への対処において火災が大きな要因となることがあります。現代的な対処としては、松江の場合、ダム、放水路、河川改修という三点セットで治水が進められてきました（図25）。しかし、松江の場合、火災も発生しました。正確には、火災も大きな影響を及ぼしたと言うべきでしょう。図27には「京橋川を浚渫し、埋め立ては中止せん」とあります。川が生き残ったということです。火災の時に川が活かされた。そのため、「埋め立て道路にすれば良い」という案が実現しなかったわけです。松江の堀川遊覧に乗られた方もいると思いますが、素晴らしいです。あの地域資源がなぜ残ったかというと火災の対策として残ったのです。それが残ったということは中心市街地では交通的な利便が少し落とされた状態になりました。一方で火災が起きているので都市基盤は近世的な都市基盤からビルドアップされた形の区画整理事業が早いタイミングで行われており、利便は良くなっています（図27）。火災によって基盤は少し良くなりつつも、火災が起きていないところの基盤は近世的な基盤が活かされ、河川と同時にそういう風景が残っているという複雑な動きが都市の形成の中にありました。

松江の近現代領域史（舟運/鉄道/道路と災害）

	交通基盤		災害
	明治時代 舟運時代	海上交通最盛期 明治41年松江駅	明治26年大洪水 →国庫治水事業
第1期	明治時代 舟運時代	海上交通最盛期 明治41年松江駅	明治26年大洪水 →国庫治水事業
第2期	大正~昭和30年代 舟運・鉄道並立	大正10年 阪鶴丸・山陰航路廃航 昭和7年松江港修築	昭和2年白潟大火 昭和6年末次大火 →区画整理
第3期	高度経済成長期 自動車基盤拡充期	昭和33年都市計画街路網 昭和47年宍道湖大橋 昭和56年くにびき大橋	昭和47年大洪水 →斐伊川治水事業
第4期	昭和末期~現代 遅い交通再価値化	観光ループバス 堀川遊覧	平成18年洪水 →大橋川改修の再開

図24 松江の近現代領域史

災害常襲性への現代的対処：ダム/放水路/河川改修

災害常襲性 「大火と洪水は松江の華」



図25 災害常襲性への現代的対処

災害常襲性への近代的対処 生き延びる交通

■都市計画策定期の大火 →水路の防火帯の機能が認められ埋立て止	
S2 白潟大火	→京橋川埋立て止
S6 末次大火	→四十間堀川埋立て止
S7 最初の法定都市計画街路網	
S12 中原大火	→四十間堀川埋立て止
S24 白潟大火	



図26 災害常襲性への近代的対処

大火による街区更新

■第2期（大正~昭和30年代）までの都市計画は中心部を中心に、大火や建物疎開で街区が焼失するたびに進捗した。

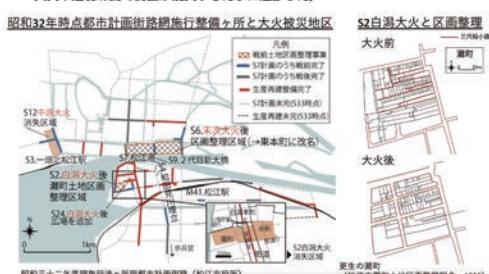


図27 大火による街区更新

3.5 地域資源と近世的領域の温存と活用

以降、洪水、豪雨、都市計画が組み合わさりながら、松江は外側に向けて環状道路、放射道路を整備しながら外側に発展し、災害リスクの低いところに市街地が形成され、その人口が増えていきます（図28）。都心の中は火災によって区画整理が行われたものの、それ以降は目立った開発が起きていないので、比較的古い地割の中で使い勝手の悪い市街地が残り、市街地が長期停滞していく傾向があります。しかしそれが地域資源を残すことにもなっているので、それをどう活かしながら今後の街づくりを進めていくかが重要です。松江ではこのような鍵型の道路が今でも残っています（図29～31）。確かに使い勝手は悪いと思いますが、歩いてみると趣があります。絵図に示された図32、33のような橋も今でも残っています。

以上のように大火と洪水、地域資源と近世的領域の温存と活用が、街づくりでは重要視されています（図34）。一方で斐伊川での治水事業、ダム、補水路、大橋側の整備と今後の都市計画の連動をどう進めていくのかも重要な視点です。

大火から豪雨へ：治水と中心市街地の空洞化



図28 大火から豪雨へ：治水と中心市街地の空洞化



図29 絵図に示された鍵型の道路①



図30 絵図に示された鍵型の道路②



図33 現存する橋



図31 現存する鍵型の道路



図32 絵図に示された橋

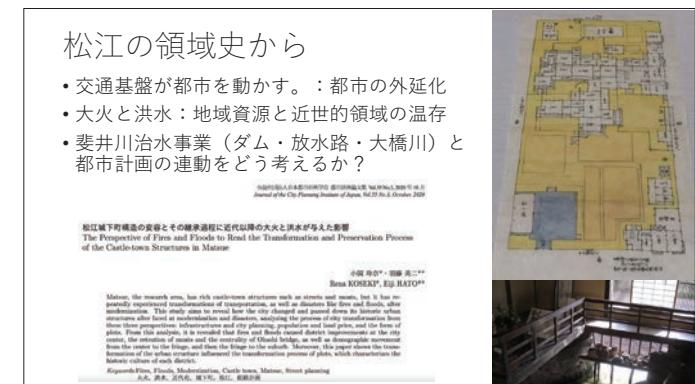


図34 松江の領域史から

3.6 胴川（愛媛県）の特徴

次は肱川の話です。肱川は愛媛県にある一級河川で、平成30年7月豪雨で非常に大きな被害を受けたところです。肘が曲がるような形で河川経路が複雑な形状をしています（図35）。松江との違いは流域中流に大洲という比較的大きな町があることです。松江は最下流のところでしたが、大洲は古い城下町で中流域にあり、最下流には長浜があり、上流側には旧野村町という美しい町があり、さらにその上流には西予市の宇和のまちなみがあります。

肱川の特徴

肱川の中流部では「ひじ」のように大きく曲がり、源流部が平坦な盆地地形を有する一方、大洲盆地より下流は、山に挟まれ、狭く流れの緩やかな狭隘地形になっている=氾濫しやすい場所



図35 胳川の特徴

3.7 大洲の災害史

現在の大洲の町はこのような感じです(図36)。大洲城の天守閣は宿泊することができ、海外からJRを借り切ってここに泊まり、花火を上げて帰る人がいるそうです。私が子供の頃に住んでいたこの辺りが、そのような地域資源の使われ方をしていることに、全く信じられないような、複雑な思いを抱きます。いずれにせよ、このような大洲の風景は、海外からも非常に注目されています。ただ、私の子供の頃より少し前、大洲城が見えないような荒廃した状態の昔の写真もあり、かつては現在のようには地域資源の活性化が必ずしも考えられていなかつた状況でした(図37)。大洲市における洪水の発生年とその水位を江戸時代から辿ると、藩政期から戦前にかけて記録が残っており、水害が繰り返し発生してきたことがわかります(図38)。



図36 現在の大洲の様子



図37 昔の大洲の様子

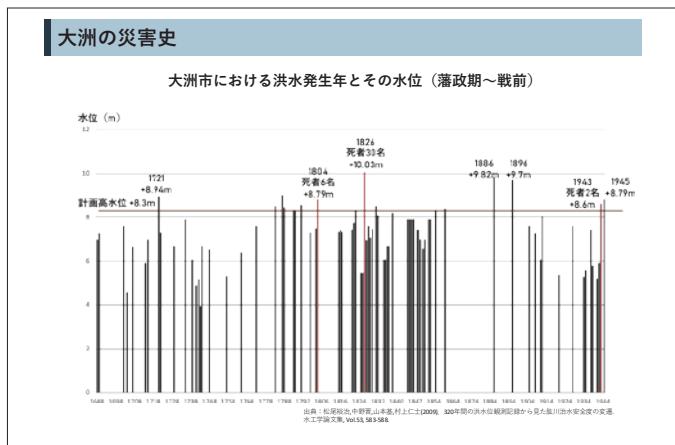


図38 大洲の災害史

3.8 大洲の水災害への対応

そうした危機に対して、上流に野村ダムが建設されました(図39)。ダムがどのようなものかについては、釈迦に説法ではございますが、渇水期には水の供給を、流量が増加した際には貯留することで放流を遅らせるなど、渇水時と多水時の両方でダムを機能させる役割があります(図40)。その内側では、築堤や引堤、河川改修で対応するというのが基本的な考え方です。肱川においても、鹿野川ダムと野村ダムが整備されました。南予地方は農業も盛んなため、それらを整備することで流域全体の整備を図ろうとしました。

しかしながら、松江と比較すると、大洲の市街地にはまだ古い細い道が残っています(図41)。また、臥龍山荘のような、石を積んで水害から守りつつ、眺望を楽しめるような風景も見られます(図42,43)。石の上にガードレールがあつたりして、その意味を考えてしまうようなインフラや、天満神社へ続く道のサイドを石積みが固めているものもあります(図44)。

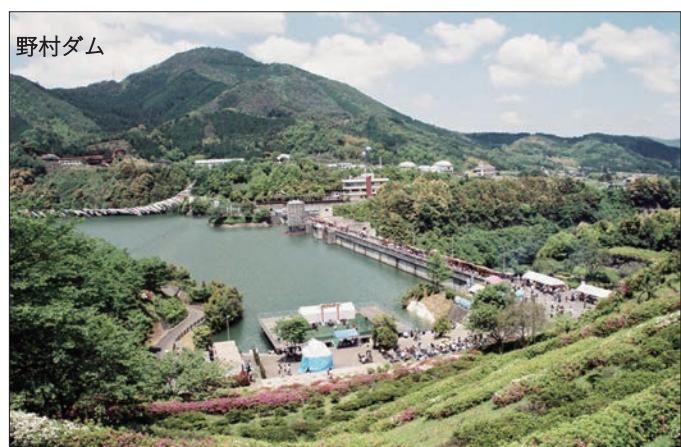


図39 野村ダム

河川とダムの関係

頻度の高い小中規模の洪水に対しては、河川改修で護岸能力を確保。
頻度の低い大規模な洪水に対して河川改修で安全確保を図ろうとすると、まちを大きく改変する河川改修が必要
→ダムによる洪水貯留と河川改修を組み合わせて治水对策を実施。

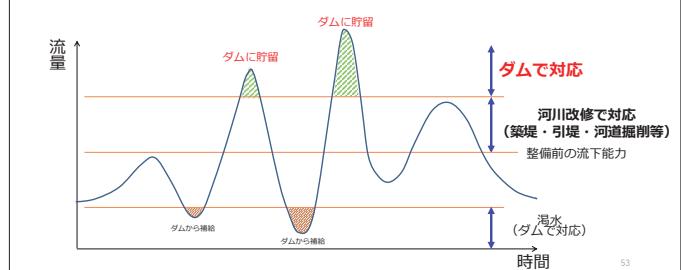


図40 河川とダムの関係



図41 細い道が残る大洲の市街地の様子



図44 天満神社（愛媛県大洲市）

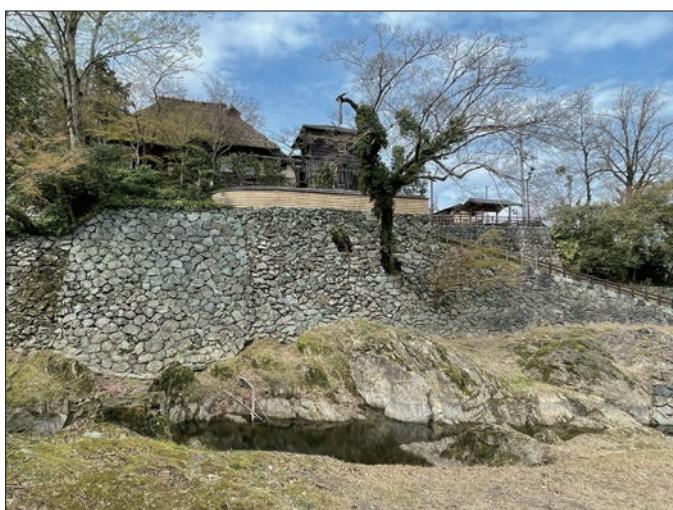


図42 臥龍山荘（愛媛県大洲市）①



図43 臥龍山荘（愛媛県大洲市）②



図45 土砂災害特別警戒区域マップ



図46 災害避難所に指定されている中学校



図47 東大洲の田んぼの風景

3.10 大洲の治水計画の変遷

1944年の大洲盆地の治水計画は、図48で示すように元々、現在市街地となっている右岸、左岸一帯を輪中堤で囲むのが基本的な策でした。これは、下流に長浜などの集落が点在しているため、輪中以外の形で治水を行うと、水が一気に下流へ流れ出し、堤防の準備ができていない限り対処できないからです。そこで、当初は輪中堤が設けられていました。

しかし、1960年に鹿野川ダムが完成したことで、翌年、この政策は連続堤に転換されました。この転換後も、大洲盆地の大部分（赤く囲った箇所）は遊水地として残され、ここに水を溜め込むことで、下流域への影響を抑制するという考え方で治水計画が進められました。

下流域の風景として、瀬戸内海に面したところで長浜という町があります（図49）。江湖港というところで、坂本龍馬が脱藩時に立ち寄り、ここから大阪へ向かったと言われています。肱川を使って木材が流送され、ここから大阪へ運ばれています。

このような町が下流にあるため、図50の赤い丸で囲んだような場所に遊水地を設け、下流域への衝撃を抑えるのが基本的な施策でしたが、赤い箇所には堤防を整備して市街地を守る、という計画変更がなされたのです。

したがって、市街地というべきか、田んぼのある遊水地の場所は、周囲の堤防よりも3.6m低い構造になっていました（図52）。そのため、平成30年7月豪雨の際にも、先に赤で囲んだ範囲を超える形で水害が発生しました（図52）。亡くなつた方もいらっしゃいますので、単純に遊水地だから良いという範疇を超えた被害が発生したと言えます。この図を見ても分かるように、平成30年7月豪雨はかなり高いレベルの災害として発生したことが伺えます（図53）。

大洲市の災害史・災害対策史

計画策定当初（1944年）の大洲盆地治水計画

=流域治水計画といつていい



図48 当初計画の特徴



図49 江湖港（愛媛県大洲市長浜）

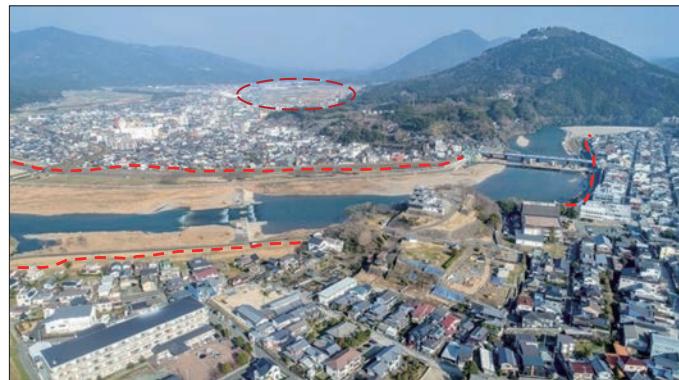


図50 大洲盆地治水計画

大洲市の災害史・災害対策史

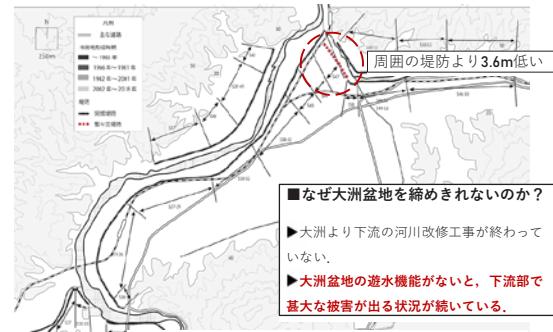


図51 堤防建設年と2018年時点での堤防整備状況

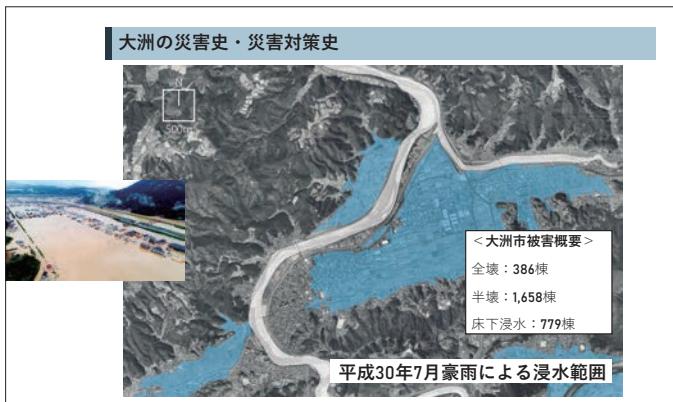


図52 平成30年7月豪雨による浸水範囲

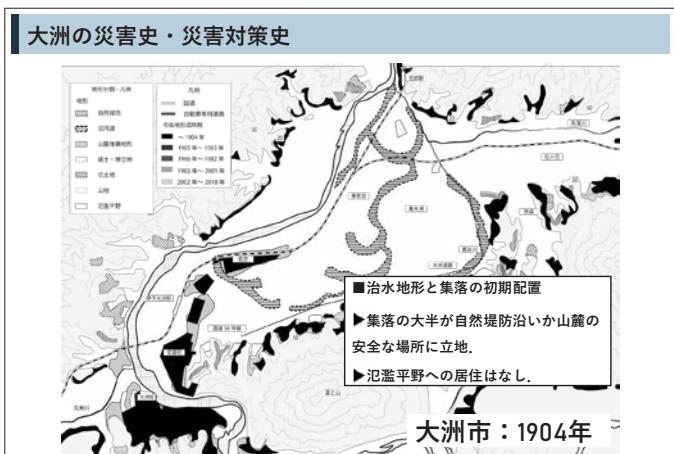


図54 1904年の大洲市の治水地形と集落の初期配置

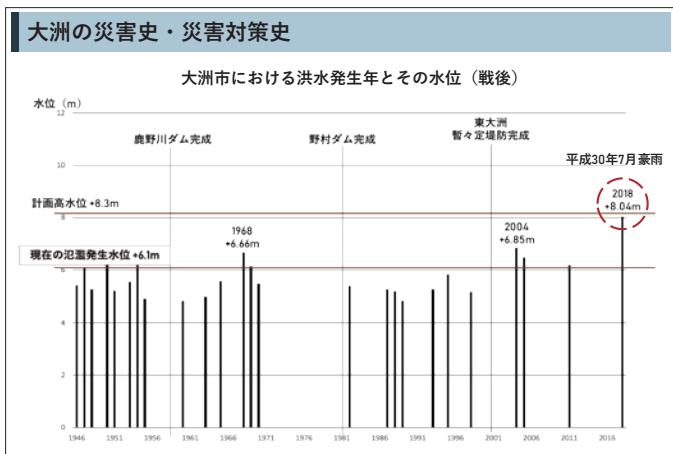


図53 大洲市における洪水発生年とその水位（戦後）

3.1 都市計画と河川整備がどのように連動し得るか

陸前高田や大船渡が、インフラ整備によって都市を事前に移動させることに成功した事例を挙げましたが、大洲ではそのようなことは起きていないのでしょうか。土地利用、都市計画と河川整備がどのように連動しうるのかを、過去の歴史から見てみたいと思います。1904年の地形図（図54）を見ると、氾濫平野への居住はほとんどありません。陸前高田や大船渡と同様に、浸水するような場所に住む人は基本的にいなかったのです。これは津波も河川の洪水も同じです。しかし、1964年に国道56号のバイパスがこの氾濫源を横断する形で建設され始めました（図55）。ここからモータリゼーションが急速に進展し始めますが、2018年になると、この沿道にかなりの開発が見られるようになります（図56）。ロードサイドショップなどが登場するということです（図57）。

大洲では、高度経済成長期に一度人口が減少するものの、1981年頃から人口が増加しています（図58）。この人口増加を受け止めることができたのは、実は現在災害リスクが高いとされている場所への居住地や商業施設の開発が、農地転用によって行われたからです。南予地域全体では人口が大幅に減少していたにもかかわらず、大洲が発展していく上での受け皿となっていたのです。

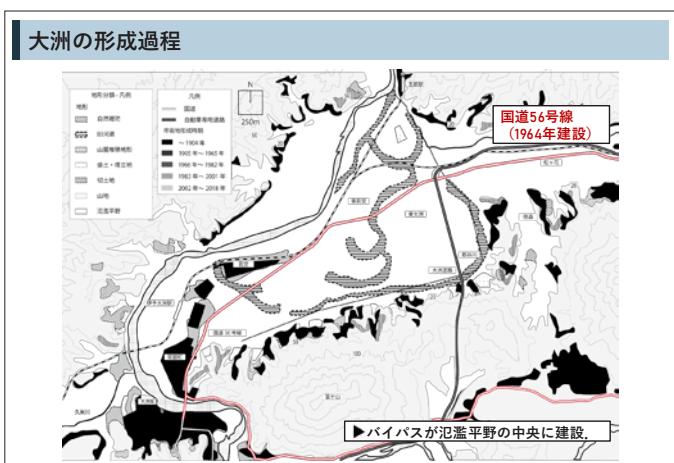


図55 大洲の形成過程（1964年：国道56号建設）

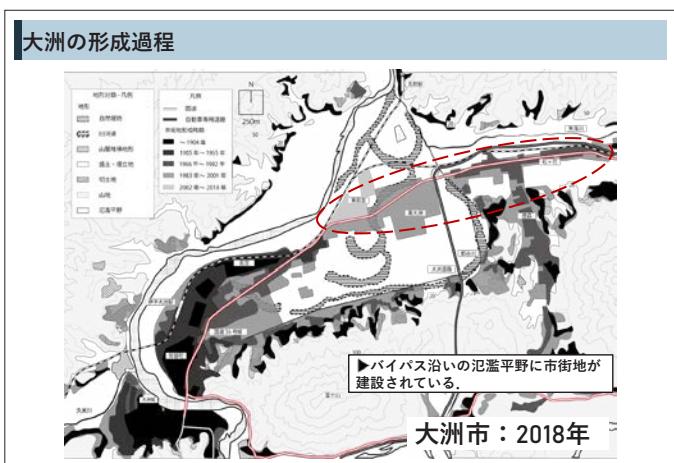


図56 大洲の形成過程（2018年）



図57 国道沿いに立ち並ぶ店舗

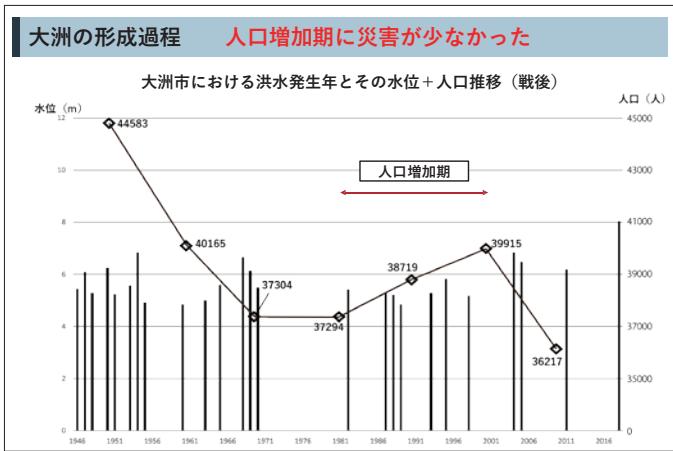


図58 大洲市における洪水発生年とその水位+人口推移

3.12 大洲における危険地帯への進出とその要因

1965年頃はまだバイパス沿いへの進出は見られませんでしたが（図59）、1982年には松ヶ花で開発が見られ（図60）、土地改良事業が行われました（図61）。これにより、第二種の農地転用が可能となり、土地利用の転換がなされた結果、この松ヶ花への立地が進みました（図62）。さらに、準工業地域に指定されたことで、赤丸で囲んだ箇所も開発が加速しました（図63）。したがって、高速道路の整備なども進む中で、地元の方々が「低地ではリスクがあるものの、そのような土地を活用したい」と考え、ここに市街地が形成されていったという状況があったのです。

大洲における危険地帯への進出、その4点目として、用途地域の指定変更によって開発が許可されたことで、低地の遊水地にほど近い場所で市街地が利用されるようになりました（図64）。それが人口を受け止める受け皿となった一方で、平成30年7月豪雨のような高いリスクの洪水が発生した際には、そこが浸水するという、裏腹の関係が生じていたことが分かります。準工業地域への指定が、この地域の開発を促したのです。（図65）

そして最後に、東和若宮地区での建物立地が進みました（図66）。ファミリー層や、大洲河川国道事務所の若手職員の中には、ここで家を購入している人もいます。土木に携わる者として、地域リスクをどう考えるか。リスクゼロの土地などないことは、我々専門家であれば理解していると思います。リスク

とどのように向き合っていくかは、その土地での生き方とも関わるため、必ずしも災害リスクの有無だけでそこに住むか住まないかが決まるような単純な話ではないでしょう。やはり東若宮地区なども含め、比較的中心地よりも災害リスクが高い場所が、人口を受け止めるきっかけとなっていました（図67）。

ただし、平成30年7月豪雨以降、肱川では暫定堤防だった箇所を締め切り、高さを上げる事業が着々と進められ、平成30年7月豪雨時よりもさらに災害リスクを抑える形での整備に成功しています。今後、こうした堤防整備や避難計画との組み合わせによって、このような地域でどのように暮らしていくべきかが問われています。

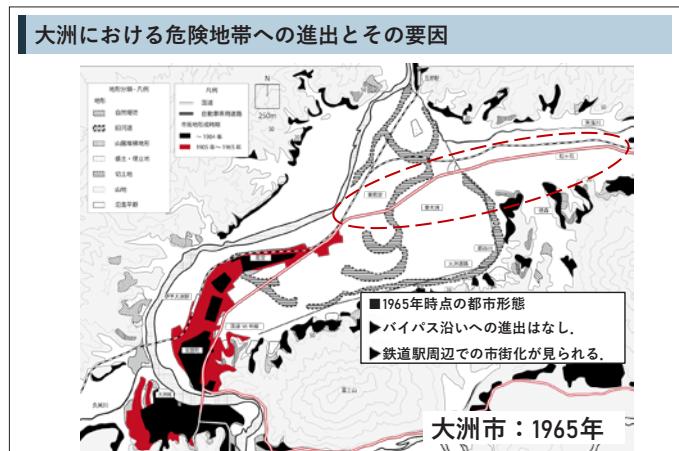


図59 1965年時点の大洲市の都市形態

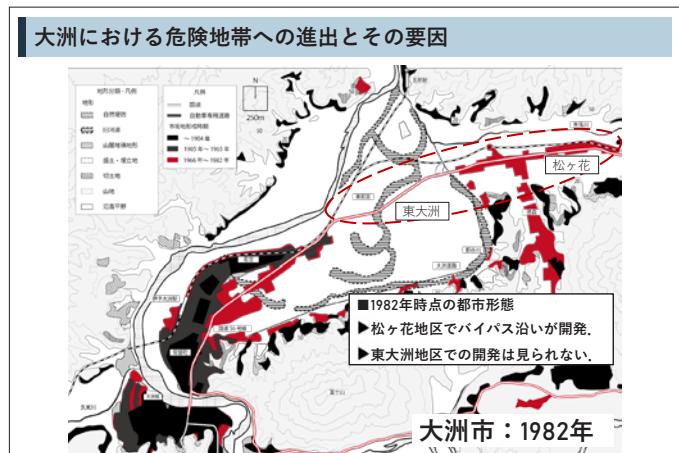


図60 1982年時点の大洲市の都市形態

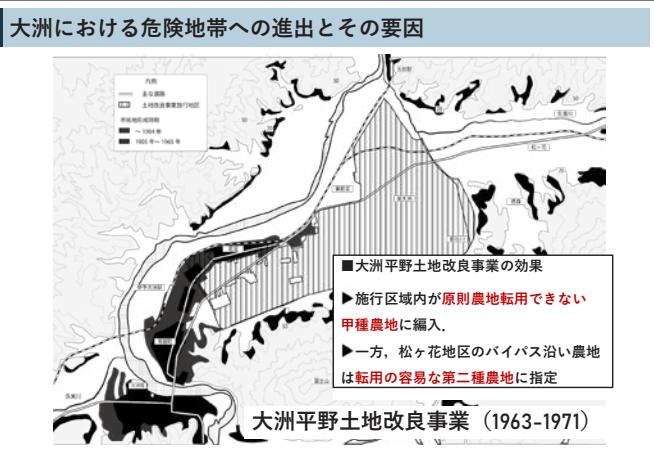


図61 大洲平野土地改良事業 (1963-1971)

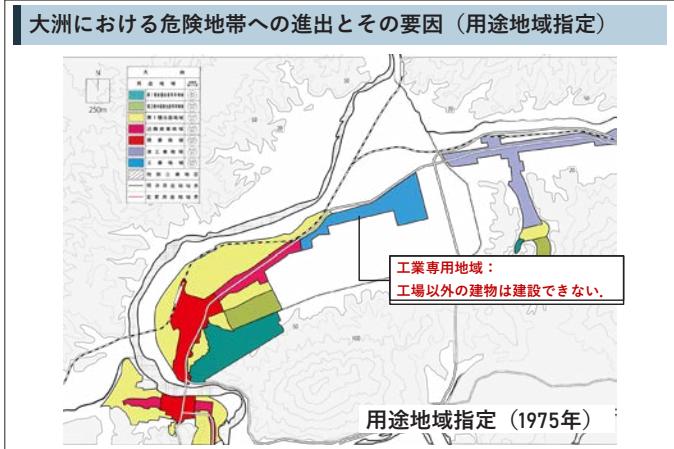


図64 用途地域指定 (1975年)

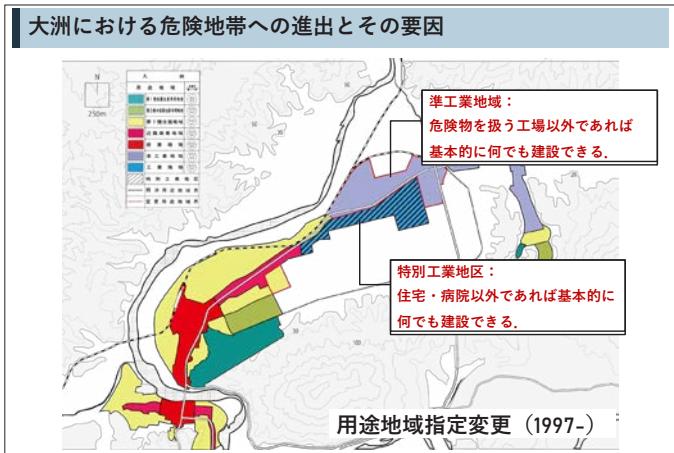


図65 用途地域指定変更 (1997-)

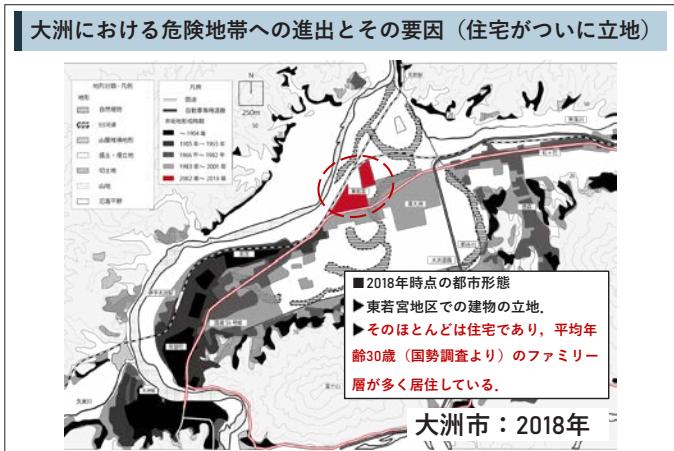


図63 大洲市：2001年

図66 大洲市：2018年

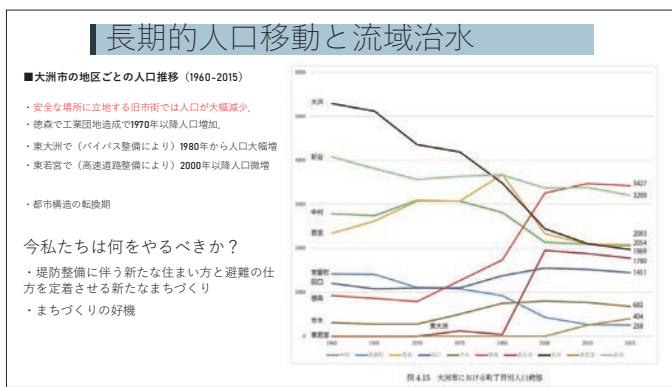


図67 長期的人口移動と流域治水



4 地域連携と災害対策

4.1 地域コミュニティ内の連携の重要さ

我々はスタディツアーを実施し、地域の方々と平成30年7月豪雨で何が起きたのかを聞き取り、リスク認知を新たにしたり、記憶を継承するといった活動を行っています(図68)。

また、豪雨災害戦略を検討する上で、どのようなことがあったのかを議論し、様々な方々の声を集めいくと、避難の連絡が来た、あるいは近所の方から連絡があったから避難した、といった情報が得られました(図69)。やはり、地域コミュニティ内の連携の強さによって、避難できた人とできなかつた人がいることが分かったのです。そこで、住民同士の伝達をさらに強化することで避難力を向上させることができないかと考え、大洲三善地区では「避難カード」を作成しました(図70)。これは、誰に連絡をするのか、誰からの連絡を待つか、あるいは誰と一緒に避難するのか、といったことを事前にカードに記入しておくことで避難力を高める工夫です。これが平成30年7月豪雨の際にも大きく機能したことから、このようなカードを導入することでどれくらい避難率が向上するかをシミュレーションしたところ、避難カードを導入し情報伝達を効果的に行うことで、孤立世帯数が61世帯から34世帯へと劇的に半減し(図71)、避難人数が約2倍になるという結果が得られました(図72)。したがって、こうした取り組みを流域治水の中で避難力を高めるために、知り合いに連絡を取り、誰と一緒に避難するのかをあらかじめ決めておく、といったことを推進しています。また、堤防の高さが変わると当然リスクの現れ方が変わりますし、内水氾濫の発生状況も変化します。こうしたリスクの変化を、GIS上で市民の方々が手軽に確認できるよう、あるいは小中学校、高校の授業などでリスク確認ができるよう、ツールを作成し、地域の方々と共有しています(図74)。これらの取り組みはオープンハウスという形で、高校生や、比較的若い国土交通省のエンジニア、コンサルタントの方々と一緒に議論し、どのようなまちづくりを進めるべきかを地域の方々と話し合いながら実践しています(図74,75)。

流域治水における避難交通戦略はどうあるべきか?

豪雨災害戦略の効果確認

- 災害リスクが徐々に上がる→個人ごとのリスク認知のばらつき
- 豪雨は避難のリードタイムが長い→住民同士の情報伝達行動



図69 流域治水における避難交通戦略はどうあるべきか?

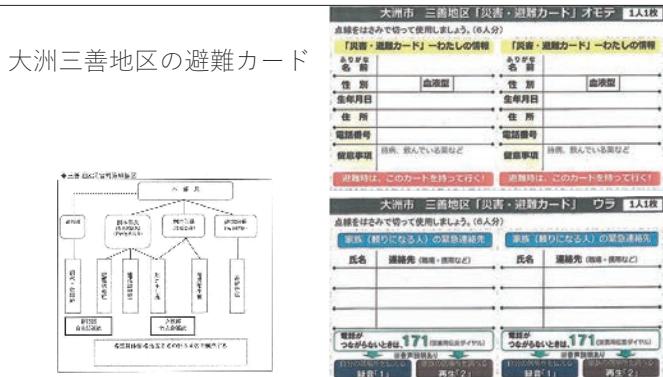


図70 大洲三善地区の避難カード

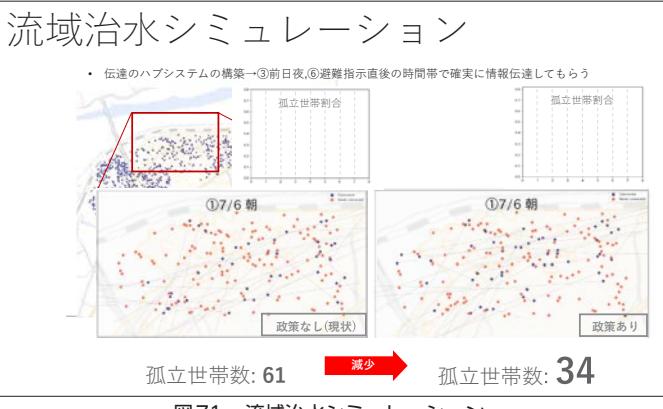


図71 流域治水シミュレーション

避難カードなどによる共助の動機づけが重要

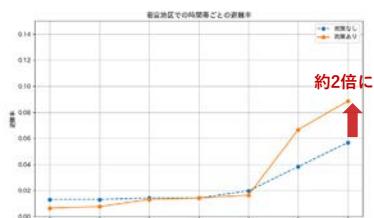


図72 避難カードなどによる共助の動機づけが重要

流域治水DXによる動機づけへ



図73 流域治水DXによる動機づけへ
(リスク確認のためのツール)



図75 オープンハウスの様子②

4.2 流域治水の未来

流域の歴史的発展や衰退の履歴は、前述の通り、それぞれの河川で大きく異なります。まずこれを理解することが重要です。河川整備や道路、鉄道、都市事業によって、人々の動き方や暮らし方が大きく変わるので、こうした事業を複合的に実施し、相乗効果を発揮していくような、まさに国土交通省でなければならない事業のあり方を目指すべきです。

また、事前復興は可能です。山陰地方の江津などでは、江の川において事前復興事業として防災集団移転が事前に実現している例もあり、不可能ではありません。単独で実施しようとすると合意形成が非常に困難ですが、他のインフラ整備と組み合わせることで、移転へのインセンティブが発揮されることもあります。

ただ、ハード対策に偏重しようとすると、予算措置が息切れる可能性があります。財政的な視点に立つと、ガソリン税や有料道路制度なども再考する必要があるでしょう。スーパー堤防と道路整備を連動させることで、災害リスク減少による地価上昇と税収増加を活かし、市場から資金調達を行い、その予算で堤防や道路を整備するという、税金に頼らない新たな資金調達方法も今後検討されるべきです。

流域治水的な視点から、ダム、放水路、河川改修の整備に対応したリスクコミュニケーション、避難率向上に向けた避難カードの有効性、あるいは流域治水の拠点となるようなデザインセンターの運用といったことも重要です。

4.3 付知川の事例と地域インフラの複合的活用

最後に、付知川の事例です。岐阜県中津川市にある付知は、リニア中央新幹線が開通することになっていますが、付知の集落は裏木曽街道沿いにあり、二次交通が不便であるという問題があります。この流域でどのように地域づくりを進めるべきか、現在、中津川市の方々と共に取り組んでいます。大洲よりもさらに中流から上流域に位置する町ですが、付知川が中央を流れ、集落と山があり、その狭い間に展開されているのが基本的な町の構造です。産業は歴史的に天領であったことから、やはり木材産業が盛んで、製材所や木工所が集落の中に非常に多い町であることがわかります（図77,78,79）。



図74 オープンハウスの様子①

このような場所でどのようにまちづくりを進めるか。ここでは自動走行を取り入れており、地元の木材で作られた自動走行のためのバス停を設置し、「かつて付知の製材工場は付知川と深い繋がりを持っていました」といった観光案内を掲示しています（図80～81）。川が見えづらい河岸段丘の裏の旧道筋であっても、川との関係や歴史をまちの中に可視化し、地元の材木でそれが分かるようにします。そこを自動走行でネットワーク化し、古民家をリノベーションすることで、地元の人々が担い手となってカフェなどを始めています（図82,83）。そこに自動走行の車両が来て、人だけでなく物も貨客混載で一緒に運ぶのです（図84,85）。そうすれば、付知のまるごと豆腐や地元の食材などが拠点に集まり、比較的安価な形で物が集まることで売上が伸びる、という好循環が生まれます（図86,87）。このような自動走行の拠点「まちの駅」のようなものを作り込むことで、子供たちも集まつくるようなまちづくりが実現できたのです（図88）。

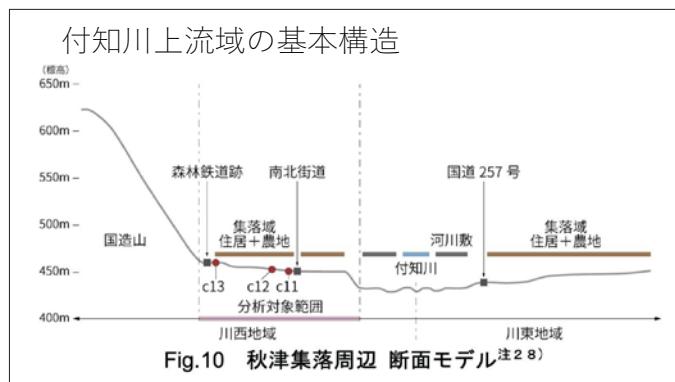


図76 付知川上流域の基本構造



図77 中津川市域・付知町域

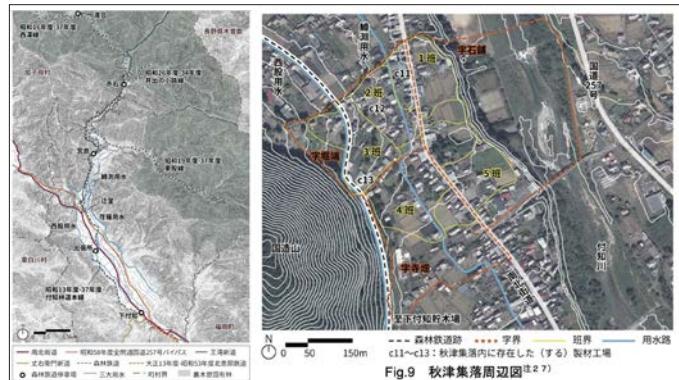


図78 秋津集落周辺図



図79 木工所の様子



図80 地元の木材を使用したバス停

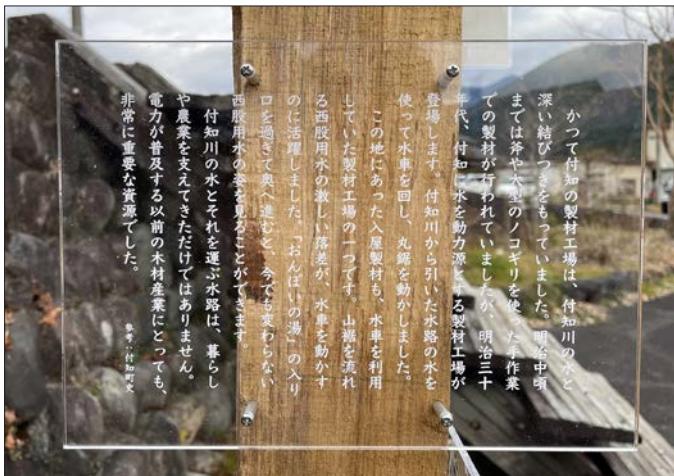


図81バス停に掲示された町の案内



図 84 自動走行の車両



図82 リノベーションした古民家

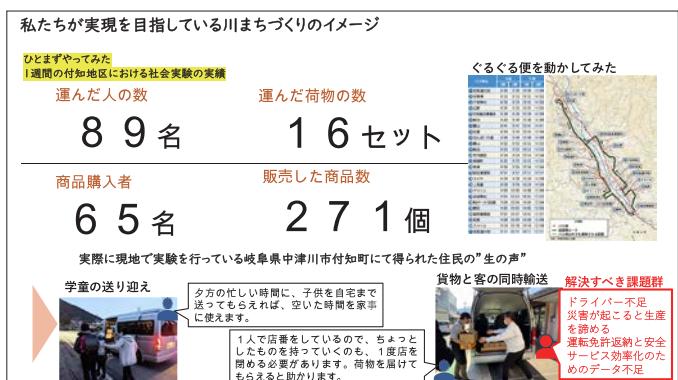


図85 まちづくりのイメージ



図83古民家カフェ



図 86 付知の名産品



図87 販売される地元野菜



図88 自動走行の拠点に集う子供

4.4 今後の流域治水に求められるもの

流域治水において都市構造の再編と拠点の強化が重要であると考えています。治水は単なる河川整備にとどまらず、浸水リスクを前提とした都市構造の見直しと、機能を分散した拠点ネットワークの形成が、都市計画と連動して治水の中で考えられるべきです。その際には、当然交通インフラの統合が重要となります。道路やバスターミナル（ミニバスターミナルやモビリティハブと呼ばれるようなもの）を、避難、排水、滞留機能と組み合わせ、平常時だけでなく災害時にも対応可能な複合的な新たな地域インフラとすることが重要ではないでしょうか。当然、担い手が少ない中で自動運転のような技術は必要とされまし、デマンド交通やセンサー技術なども活用しながら、リアルタイムな避難支援体制を構築することも重要でしょう。また、労働力不足への対応と共助の体制も必要不可欠です。地域住民や民間と連携した運営モデルを構築し、少人数でも持続可能な治水・防災体制を実現することが、今後の流域治水において重要であると考えております。

5 交通研究の最前線：次世代モビリティとオープンサイエンス

5.1 最新の交通研究分野の動き

最後に、最新の交通研究分野でどのような動きが起こっているかについてお話ししたいと思います。2025年6月に私が座長として沖縄で交通に関する国際会議を開催しました。世界中から317名が参加してくれましたが（図89）、イランとイスラエルの戦争の影響で一部の方々が来られなくなり、大変でした。これらの世界の交通研究者が集まり、何を議論したのかについて少しお話ししたいと思います。基本的には「次の交通とは何か」といったテーマが議論されました。

カレン・スミロビッツ、ミシェル・ビフィエル、ヤンフェン・インという三名の研究者を招待し、彼らに「次の交通」について話していただきました（図90）。

ヤンフェン・インは自動走行やITSの研究で世界のトップにいるミシガン大の研究者です。

ミシェル・ビフィエルはEPFL（スイス連邦工科大学ローザンヌ校）の教授で、もともとはマサチューセッツ工科大学で研究をしていた人物です。

カレン・スミロビッツ氏は、学術誌『Transportation Science』の編集長で、「ソーシャルインパクト」という言葉を交通研究に新しく導入しようとしている人物です。

Where did all 317 of us come from?



図89 会議参加者の出身国



図90 次の交通とは何か？

5.2 カレン・スミロビッツ氏の主張

カレン・スミロビッツ氏は、基調講演において、交通はソーシャルインパクトの時代であると話しました（図91）。単に渋滞が改善するとか、所要時間が短縮されるといったことだけでなく、社会的なインパクトを与るために、交通サービスをどのように社会に実装していくべきかを考えるべきである、と強く主張されました。その中には当然、公平性といった概念も含まれます。公共交通が垂直的公平や水平的公平の問題をどのように実現するのか、自動車が単純に普及すれば良いという世界からそろそろ転換しなければならないと主張し、社会がどうあるべきかを考えた上で交通を評価すべきだと非常に強く訴えかけました。ウェルビーイングという指標で我々の今のインフラストラクチャーを見てみた時に、十分なサービスを提供できているのか改めて問われている、そういうことに繋がる主張をしました。



図91 カレン・スミロビッツ氏

5.3 ヤンフェン・イン氏の主張

ヤンフェン・イン氏は、古典的な交通理論をレビューしながら、自動走行社会が我々のモビリティ社会をどのように変えるかについて話しました（図92）。5年から10年前のエンジニアであれば、自動走行はルールベースのアルゴリズムで構築されており、実現にはまだ30年や50年かかると主張する研究者が多かったのですが、その後、深層学習が登場し、今や大規模言語モデルが登場したことで、急速に汎化性の高いモデルによって自動走行がかなり早いタイミングで前倒しで実現する可能性が、専門家の間で議論されるようになってきています。そのような社会において、我々は道路交通の中でどのような交通流を実現していくのか、未来社会について今後議論していくべきだと述べました。

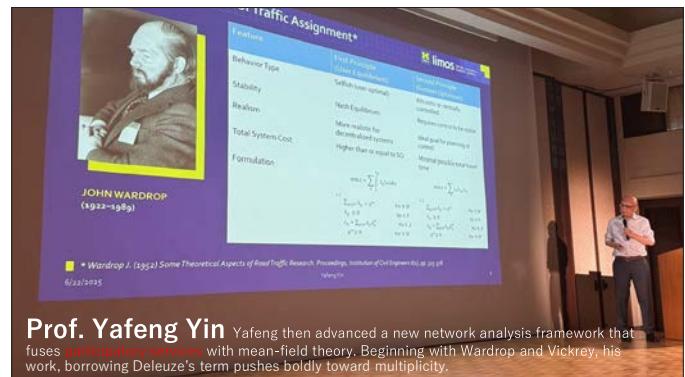


図92 ヤンフェン・イン氏

5.4 ミシェル・ビフィエル氏の主張

EPFLのミシェル・ビフィエル氏は、「Combinatorial Optimization（組み合わせ最適化）」について言及しました（図93）。これまでの交通分野で構築されてきたモデルは個人の意思決定を前提としていますが、現実には我々の行動は個人だけで決定されているわけではありません。子育て世代であれば、夫、妻、子供の制約条件の下で最適な世帯のライフスタイルを設計します。そのライフスタイルに貢献しうるインフラストラクチャーやモビリティ社会とは何かを考えることが極めて重要であり、そのような数理理論を今後我々が開発していくべきだと強く主張しました。

「Autonomous,Humanitarian,AI Embedded, Rich Open Science」が、キーワードとして挙げられました。「自動化は間違いなく進展し、我々が想像するよりも早く到来する」という主張です。エンドツーエンドの推論は速いでしょう。それは当然、省力化、自動化につながります。自動化が進めば、我々が普段オフィスで行っている業務の多くがAIに置き換わることを意味します。働き方、仕事の仕方、発注の仕方が全く変わることでしょう。その中で、「ヒューマニタリアン（人道的）」ということをどのように捉えるのか。カレン氏は人道的ロジスティクス、災害時にいかに人を助け出し、物資を送り込むか、ということを自身のテーマとしています。ガザ地区の問題などもあって、この人道的側面が非常に重要であるということがこの国際会議の中で深く議論されました。また、AIによって研究開発の現場が今とは全く変わるだろうということで、それを支配していくのがオープンサイエンスという考え方であると述べられました。



図93 ミシェル・ビフィエル氏

5.5 世界から注目される日本の自動物流道路

また、この会議の中で、自動物流道路については、海外の方々も非常に高い関心を示していました。JICE でも非常に熱心に議論されており、自動物流道路のコンソーシアムなども発足していることと思います。ばらつきはあると思いますが、事業費 10kmあたり 490 億円という概算費用で、東京・大阪間で 500km を整備していく計画です。労働力不足や働き方改革の中で、ヒューマニタリアンロジスティクスを実現するための AI を活用した全く新しいモビリティシステムが、まさにこの自動物流道路であると言えます。これは、今後の土木プロジェクトを象徴するものであると改めて思いました。



図94 自動物流道路に関する記事

5.6 新しいモビリティ社会の構築

この国際会議は沖縄県名護市の万国津梁館で開催しましたが、「万国津梁」とは、沖縄が様々な国々の架け橋となる存在であってほしいという願いを込めて名付けられたものであり、元々の沖縄の存在意義にも関わる名称です。そこで議論されたのは、需要予測のみの高度化を進めるような研究開発の時代は交通分野では終わったのではないかということです。行動モデルとネットワークモデルにAIを組み合わせることで、全く新しい自律的なモビリティ社会をいかに構築していくか。開発中の局所的な自動化技術よりも、さらにマッチングや組み合わせ最適化、外部経済の内部化を実現するような理論と実装によって、深層学習や大規模言語モデルを超えるようなイノベーションの可能性があるという議論がなされ、我々の分野の中からこのような

新しいイノベーションが生まれる可能性が示唆されたことが非常に印象的でした。



図95 集った世界中のOR交通研究者

5.7 オペレーションズリサーチの概念

もう一点は、OR（オペレーションズリサーチ、物事の進め方の最適化の概念）というものの存在です。ORは、第二次世界大戦中に米国で発展した学問領域として知られています。ロスアラモス研究所やランド・コンサルティング・グループなどで発展しましたが、その後ノーベル物理学賞やノーベル化学賞を受賞するような多くの研究者が育ち、そうした研究者がアメリカのゼネラルモーターズの交通研究所に移籍する形で交通研究の初期段階に関わっていったことはよく知られています。こうしたORという概念が、今後の交通研究において重要なという議論がなされたことも印象に残っています。

5.8 オープンソリサーチの実現に向けて

最後に、オープンリサーチの実現についてです。日頃、皆様もAIや分析ツールを使用されていることだと思いますが、こうしたツールは今後、かなり汎用性の高いモデルに置き換わっていくというのが、今後のサイエンスの状況だと考えます。そのような中では、ノウハウが汎化モデルに改修されていくことになりますので、むしろデータ資源をどのように扱うのか、計算機資源をどのように扱うのか、あるいは理論資源といったもののアーキテクチャを、JICEなどが中心となってどのように国内で構築していくのかが重要になります。ETCやETC2.0といった仕組みがありますが、自動走行社会や自動物流道路の世界では、おそらくETC3.0に相応しい新たな料金課金の体系化と、それを支える通信アーキテクチャが必要不可欠になるでしょう。このようなものが存在して初めてデータが蓄積され、そのデータストックをAIが活用することで、理想の交通社会が実現することになります。こうした目標を明確化し、企業の閉鎖的な研究開発体質をいかに改善していくか、そのために本日のような場が意識共有のプラットフォームとなり、オープンリサーチ、オープンイノベーションという形で国土を変えていくための技術開発が進むことを祈念しております。

万国津梁から

- ・需要予測（のみ）の高度化の時代の終了
 - ・（行動モデル+ネットワークモデル）×AI
 - ・自動化マッチング地域社会を実現する理論・実装で深層学習・LLMを超えるイノベーションの可能性がある
- ・ORの発展と社会基盤インフラマネジメントへの導入が急務
 - ・ORは太平洋戦争時の米国で発展
 - ・RANDやロスアラモスでノーベル賞受賞者らとのコラボレーション
- ・オープンリサーチの実現
 - ・汎化モデルの時代：データ資源/計算機資源/理論資源をどう活かすか？
 - ・目指すべき目標の明確化、企業・行政・大学の体質改善

図96 万国津梁から

6 おわりに

元気でぶつかり合い、競い合い、たとえ小さなことでも、うまくいかなくても、多少の違いがあっても、寛容に思いやりを持って皆で頑張り続ける。最後は精神論になってしましましたが、やはりこのようなことが大切ではないかと思います。本日ご聴講くださっている900名を超える皆様方が、新たなイノベーションを開発してくださることを祈念し、私の話を終わりにしたいと思います。



元気で、ぶつかりあって、はりあって、ちいさくても、うまくいかなくても、ちょっとくらい違ってても、寛容に思いやりをもって、みんなでがんばり続ける！

図97 おわりに

本内容は、2025年7月23日に開催した第39回技術研究発表会において特別講演としてご講演いただいたものです。

右QRコードより動画でご覧になれます。

■国土技術研究センターのYouTubeチャンネル

