

土木工学で変わる人々、 変えていく社会

土木工学専攻 福田 大輔 研究室

福田 大輔 准教授 1974年長崎県生まれ。東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻修士課程修了。2001年より、東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻助手(工学部土木・環境工学科兼任)。2005年より同准教授。



福田研究室では人間の行動を予測する研究を行なっている。人間は予想外の行動をとってしまうものであり、それを正確に予測することはとても困難である。先生はどのようにして人間の行動を予測しているのだろうか。本稿では先生の研究をいくつか取り上げ、実際に人間の行動を予測をするアプローチに迫る。また、福田研究室の日々の研究が社会にどのように影響を与えているのかについても触れる。

土木分野とは何か

みなさんは土木という言葉に対してどのようなイメージをもっているだろうか。道路工事を真っ先に思い起こす人が多いだろう。しかし、実際に土木が取り扱っているのはそれだけではなく、建設分野の多岐にわたっている。

土木・環境工学科と同様に建設分野を扱う学科として建築学科がある。建築学科では建物の設計・計画をしているのに対して、土木・環境工学科では、より大規模で公共性の高い構造物に関する設計・計画・施工・運用を行なっている。土木で取り扱っている対象としては、例えば鉄道や高層建築物、あるいはコンクリートなど構造物の材料そのものが挙げられる。

もともと土木という言葉の由来は、築土構木という古語であると言われている。築土構木とは中国の古典文学である『淮南子』に出てくる言葉であり、人々が安心して暮らせるよう国土を整備す

るという意味である。土木分野では、道路工事や鉄道といったインフラ整備に限らず、環境問題など人々が抱えてきたさまざまな問題に取り組みながら国土の整備を行なっている。

土木の目的としては、大きく3つのことが挙げられる。1つ目は社会の質を向上させることである。それは便利かつ快適で住みやすい都市、国土を整備することだ。例えば、違法駐輪がない駅前設計を行なったり、幹線道路を新しく整備したりすることである。

しかし、ただ便利で快適な街を作りさえすればよいというわけではない。社会には自然災害の被害を拡大しないような仕組みが求められているからだ。2011年に発生した東日本大震災で問題となったのは、これまでの震災時のような道路や橋梁の大きな被害だけではなく、支援物資の迅速な供給経路の確立や、復興のための制度づくりなど、すみやかな支援システムを充実させる必要性が指摘された。このような弱点を克服し、制度

の整備などのソフト面と、インフラの整備などのハード面の両面で災害に強い社会を作ること、それが2つ目の目的である。

3つ目の目的は地球環境にやさしいまちづくりをすることである。現在、世界中で地球の環境が破壊されていると言われているが、土木事業はその原因の一つとされている。ダムを作る際に森を切り開くことを考えると容易に想像できるだろう。土木事業を行う際、環境に配慮した手法を取ることはもちろん、環境問題が起きた時に、それに対処することも土木の目的である。例えば、地球温暖化により発生すると予想されている食糧危機の地球規模のシミュレーションがそれにあたる。

計画・交通という分野

このように、土木はスケールの小さなものから大きなものまでを研究の対象としているが、東京工業大学の土木・環境工学科では、その対象を5つの分野に分けて研究している。それは「構造」「水理」「地盤」「土木材料」「計画」である。福田研究室では「計画」の分野についての研究を行なっている。

土木事業を遂行するためには莫大な資金と膨大な時間が必要となる。そのため、事業が完結したあとで計画の失敗が判明しても取り返しがつかない。だから、土木構造物ができた後のことを事前に評価する必要がある。したがって、土木事業には計画という分野が欠かせないのである。

土木事業の可否を判断するためには、事業案の良し悪しを目に見えるような形にしなくてはならない。そのため、先生は事業によってもたらされる経済効果や利便性をさまざまな手法を応用して定量化している。事業の効果を数値化することによって、シミュレーションの結果を適切に評価し、確かな裏付けのある予測を行おうとしている。

先生は計画という分野の中でも、特に交通の計画について研究している。交通の計画で取り扱う事業のスケールは、駅前違法駐輪や駅構内での歩行者の動きといったスケールの小さなものから、都市間や国家間での人の移動といったスケールの大きなものまでさまざま。福田研究室では特定

のスケールの事業のみを取り扱うのではなく、スケールの小さなものも大きなものも分け隔てなく取り扱っている。

インフラ整備が進んできた現代では、徒歩、自転車、自動車、在来線、新幹線、飛行機など、交通手段は多岐にわたる。この中からどの交通手段を利用するかは、私たち一人ひとりの選択に委ねられている。このような人々の行動の意思決定を集約したものが交通である。先生は、交通の予測——すなわち人間の行動の予測を行おうとしている。

人の動きを予測する

■ 駅改札周辺における歩行者シミュレーション

一人ひとりの行動の例として歩行者の動きがある。福田先生は、多くの人間が限りあるスペースの中でせわしなく移動する場所、特に駅構内の改札付近での歩行者の動きに注目した。

近年、鉄道会社は新たな収入源として、駅改札内部の店舗、いわゆるエキナカを充実させようとしている。こうした施設はこれまで建築士が設計を担当してきたが、その設計は建築家たちの経験やそれぞれの意図に頼ったものであり、利用者に適した設計であるのかどうかは誰にもわからなかった。先生は、混雑や接触をなるべく回避できるような駅構内はどのように設計すればよいのかという問題について、実際に建設をはじめの前に、人間の行動をコンピュータで模擬的に再現することで解決されるのではないかと考えた。

人間の行動のシミュレーションを作るには、人間の動きを忠実に再現する必要がある。今回の研究において先生は、人間の行動の特徴を数式で表すというモデル化を試みた。先生は東急田園都市線たまプラーザ駅改札での人間の動きをビデオカメラで撮影し、分析することで人間の特徴を捉えたモデルをつくり、シミュレーションを行なった。

ここで先生が考えた人間の行動決定をモデル化する方法を述べる。先生が考案した歩行者モデルでは、人は点によって表され、0.5秒ごとに進路を変更する。それぞれの方向へ進行する確率を計算

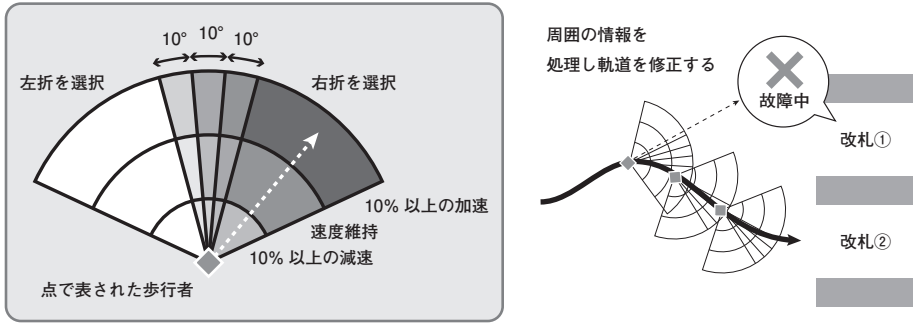


図1 確率を用いた歩行者モデル

左図：0.5秒ごとに各マスに進行する確率が計算される。マスの色の濃さはそこに進む確率の高さを表している。色が濃いほうが確率は高く、薄いほうが確率は低い。進路はその確率を元に決定される。
 右図：進路を修正するのも各マスの確率の変化で表される。この図のように左側に障害があるときは、右側のマスに進む確率が高まる。

して扇型の15個のマスをその値を割り振る。その確率を元に進路を決定していくことで人の軌跡を再現している(図1)。そして、コンピュータ上に作成した駅構内のモデルに数多くの人間のモデルを配置して実際に動かすことによって、与えられた設計で人々がどのように動くのかをシミュレー

トすることができた。先生は実際にJR大宮駅をモデル化し、シミュレーションを行なった(図2)。

しかし、人の動きを式で表す手法を確立させるまでには多くの困難があった。実際には、改札付近の歩行者は非常に複雑な動きをする。例えば、駅で自分の向かおうとしていた改札が混雑している、もしくは何らかのトラブルが起きて一時的に使用停止になっていたとする。この場合、歩行者は通常隣の改札に目的地を切り替えるだろう。シミュレーションでそれを表現するには、歩行する速さや向きを歩行者の意思に合わせて細かく変える必要がある。先生は歩行する速さや向きの確率の計算式を工夫することで、このような場面であっても人の動きを適切にシミュレートすることに成功した。

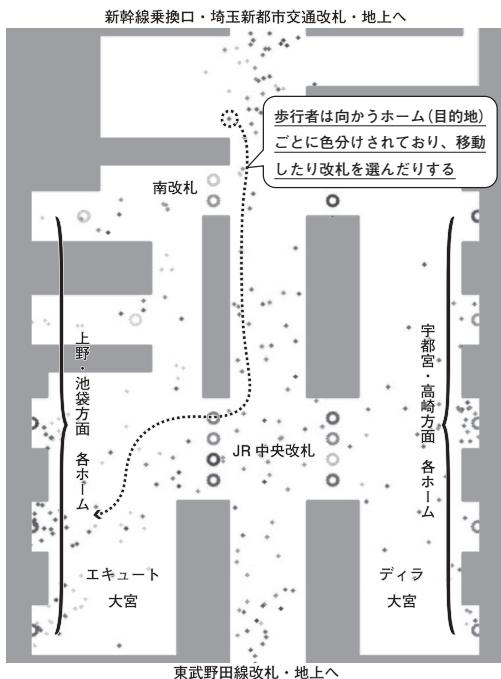


図2 大宮駅構内のシミュレーション

これは実際のシミュレーションの図である。点が歩行者を表し、大きな円が改札やホームを表している。このシミュレーションにより、新幹線や私鉄やJRが乗り入れている大宮駅の混雑の様子がよくわかった。

駅空間を建設する前にこのようなシミュレーションを行うことで、配置する改札や階段の数といった、駅の大きさを想定することができる。コンピュータによるシミュレーションによって、より適切な駅設計ができ、社会に大きく貢献できるのではないかと先生は考えている。

■ 未来を予測し、誘導するカーナビ

人間の行動決定は、自動車の交通という大規模な形でも現れる。多くの運転手の選択したルートが一致してしまうと、交通渋滞が発生してしまう。先生は交通の遅れが小さくなるように、渋滞を回避することが可能なカーナビを使った新しい経路誘導システムを研究している。

渋滞を回避するような経路に誘導するには、まず渋滞を発見する必要がある。渋滞を検知する仕組みは以前から存在していた。それは、高速道路上などに設置されているような自動車を感知するセンサーにより、車の速度を測定することで渋滞を発見するというものであった。しかし、先生はこれでは不十分だと考えている。この仕組みには、センサーがないところでの渋滞の検知ができないという問題があるからだ。

最近では、固定された検知器を利用しない新しい渋滞探知方法も登場した。それはスマートフォンやカーナビに搭載されているGPS機能により車の現在位置や速度を測定し、情報をデータセンターに集めることで道路の混雑状況を調べるというものである。この仕組みにより、主要道路だけでなく路地の混雑状況をも知ることができるようになった。

しかし、先生はこのGPSによる渋滞検知システムでもまだ不十分だと考えている。なぜなら、このGPSのシステムでは、現在の渋滞状況はわかっても未来の渋滞状況はわからないからだ。渋滞情報は、出発する時の情報よりも、車でその地点に差し掛かった時の情報の方が、ドライバーにとっては大事なのである。

そこで先生は未来の渋滞状況を予測するシステムを作った。先生は東京都内を走るタクシー80台にGPSを搭載させ、速度や位置情報を収集した。得られた4年分のデータを集計することで、曜日あるいは季節によって変化する道路の混雑状況の傾向を捉えることができ、未来の渋滞状況のある程度まで予測することが可能となった。

また先生は新しい経路誘導システムを作るにあたって、経路探索の方法も一新した。現在のカーナビに搭載されている従来の経路探索では、目的地に到達するまでにかかる時間が最も短くなる同一の経路をすべての車に示している。しかし多くの車が同じ情報をもとに同じ道に誘導されてしまうと、その道が混雑したり渋滞が発生したりしてしまい、結果として時間が最短ではなくなってしまうことがある。

先生は目的地への走行時間が最短となる可能性のある複数の経路を示す経路探索システムを考案した(図3)。この時、経路の候補は、集計したデータを元に道路の混雑状況を予測することで絞り込んでいる。実際に経路案内をするときは、道路のリアルタイムな混雑状況と照らしあわせて経路群の中から最適な経路を提示するのである。また、同じ目的地に向かう車であっても、異なった

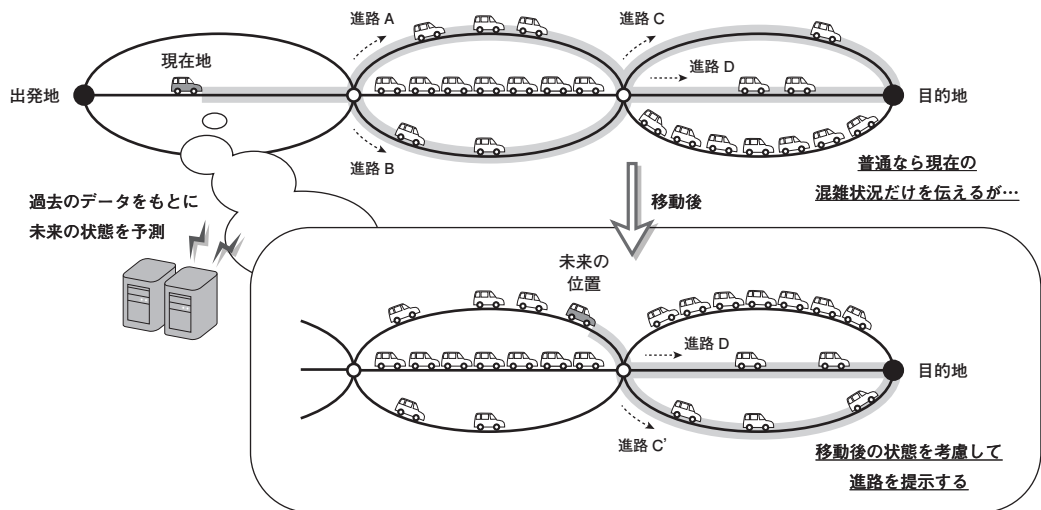


図3 複数経路の提示

福田先生の経路探索では、自転車(灰色の車)の走行時間が最短になる可能性のある複数の経路を表示する。走行距離が必ずしも最短になるとは限らない。また、蓄積された過去のデータをもとに、移動後の道路状況を予測して経路を提示する。

経路を誘導することで新たな交通渋滞を減らすことも可能となる。先生の経路誘導システムは各ドライバーの遅刻のリスクを最小にし、さらに道路交通全体をスムーズにすることもできるであろう。

■ 社会心理学で違法駐輪を減らす

人間は外部からのさまざまな影響を受けて行動を変化させる。その要因にはお金、権力、そして言葉の3つが存在すると先生は考えている。お金や権力による行動の変化は、法令を定め、その違反者から罰金をとったり、警察を使って違反者を摘発したりすることによって生まれる。このようにお金や権力の行使によって人間の行動を変化させることを構造的方略という。一方、言葉を用いた対話によっても人間の行動を変化させることができる。このように、言葉を使うことによって人間の行動を変化させることを心理的方略という。

違法駐輪は、自転車の利用者が増加してきた今日では大きな問題となりつつある。今まではその対処として違法駐輪者に対して多額の罰金を科してきた。また、違法駐輪者を取り締まる法令を定め、それにもとづき自転車の撤去を進めてきた。こうした構造的方略の実施により違法駐輪は減らすことはできたが、その効果は一時的なものであった。厳しい取り締まりをやめると再び違法駐輪が増加するというケースが多発している。構造的方略にはこうした限界があった。

そこで、先生は違法駐輪を減少させるためには構造的方略に加えて、心理的方略も有効ではないかと考えた。福田研究室は共同研究している他の先生方と一緒に、違法駐輪が多発している現場に指導員ではなくコミュニケーターと呼ばれる人たちを派遣した(写真1)。

コミュニケーターは学生や若い人を中心に構成されていて、指導員のように違法駐輪に関する注意・勧告をするのではなく、駐輪場が付近にあることを伝えることが主な仕事である。また、会話はあいさつからはじめるなど、違法駐輪者と対等の立場から話しかけることを徹底させた。人々に駐輪場を使うメリットを感じてもらい、駐輪場を使いたくなるようクーポンなどのサービスも提供した。さらにこのとき、駐輪場の使用を促すチラシも同



写真1 呼びかけを行うコミュニケーター

写真右側の男性がコミュニケーターである。このコミュニケーターは、違法駐輪者にチラシを配布することで、付近の駐輪所の紹介をしている。

時に配布した(図4)。

チラシには、各駐輪場への案内が地図付きで書かれている。ネガティブな言葉を避けて心理的抵抗を減らすように配慮されており、違法駐輪に関する注意は記載されていない。一方、駐輪場から駅までの所要時間を秒数まで詳細に記載し、駐輪場の利便性をアピールできるものとした。

こうしたチラシの配布や、コミュニケーターによる呼びかけを行なった結果、違法駐輪は減少を見せた。それは劇的な変化とは言えないが、構造的方略のような一時的な減少とは異なり、減少した状態を持続することができた。実際の社会の問題を解決するには構造的方略だけではなく、このように人の心を動かす心理的方略も欠かせないというのが先生の考え方である。

福田先生をめざすもの

交通における計画は、人間の行動に関する予測なので、人間が想定外の行動を取ることで予測が外れることがある。福田先生は、想定外の結果が出たときは原因をつきとめようとし、その原因をカバーするように予測を立て直すことで、精度を少しずつ上げているのである。先生は、最終的に予測が的中したときこそがおもしろいと考えている。例えば、歩行者のシミュレーションの研究において、人間の動きを式で表してモデル化したのが、はじめから人間さながらの動きを再現できたのではない。式を微調整することで、人間の動きを適



図4 呼びかけと同時に配布したチラシ

チラシには駅から駐輪所までの所要時間や、料金など利用者にとって有用な情報がわかりやすくまとめられている。

切にシミュレートできるようになったのである。

土木という分野は人間学である、と先生は考えている。その理由は、人の行動や心理と土木事業の関わりを研究しているからだ。福田研では、よりよい研究のために、心理学や経済学といった人間の習性を研究する学問を現実の問題の解決に応用しているのである。

土木は研究の成果が社会の人々に直接反映されやすい学問でもある。社会に貢献する方法は論文を多く書くことだけではない。先生はどうしたら社会の役に立つ研究ができるのかを常に考えている。そこで、実際に起きている身近な問題の解決に取り組んでいるのだ。

最後に、福田研究室が現在取り組んでいる研究について触れておく。現在、先生は企業と共同で中部国際空港（セントレア）で社会実験を進めている。空港は内部が非常に複雑で広大なため利用者が迷ってしまうことがよくある。そのため、飛行機が定時出発ができないという事例が後を絶たない。そこで先生は、空港利用者を誘導するような簡易な装置を利用者に持たせることを提案している。これは言わば、カーナビを空港内部で利用

できるように改変したような装置である。この装置により、今までは空港内で迷っていたような利用者も空港内をスムーズに利用できるよになると先生は考えている。

交通は社会の根底のシステムなので、社会の問題は交通のいくつもの問題が合わさったものである。個々の交通の問題に対処することで、よりよい社会を実現することができる。さまざまな分野の知恵を活用して社会をよりよくしようとする先生の挑戦は、まだはじまったばかりである。

執筆者より

人間の行動という複雑な事象をどのように分析・予測しているのか、福田先生は深い知識のない私達にわかりやすく説明してくださいました。土木の計画という分野がどのようなことをしているのか、本稿が皆様の理解の助けとなりましたら幸いです。

最後になりますが、お忙しい中、度重なる取材に快く応じて下さった福田先生に心より御礼申し上げます。（池嶋 大樹）