

地震時の交通状況評価に関する研究

杉田秀樹* 大谷康史**

1. はじめに

平成7年に起きた兵庫県南部地震による市街地の甚大な被害を背景に、地震に対して強いまちづくりが各地域で推進されている。そのまちづくりを技術面から支援することを目的として、平成10年度より5箇年計画で建設省総合技術開発プロジェクト(以下「総プロ」と記す)「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」が開始された。本総プロでは研究領域を(1)地区の防災要素の影響評価手法の開発、(2)地区の防災対策技術の開発、(3)計画支援技術・防災対策推進方策の開発の3テーマに分類し、公共施設整備の市街地災害抑制効果、地区レベルの防災対策及び住民・行政職員の合意形成支援ツールに関する研究を実施している。当課では、(1)地区の防災要素の影響評価手法の開発に属する、地震時交通需要推計手法、道路区間の障害危険度評価手法を含む幹線系道路(道幅が8m程度以上の道路)の信頼性評価手法について、研究を行っている。

本報告は、兵庫県南部地震等既往地震の被災事例の調査・分析結果を報告し、これに基づく幹線系道路における地震時の交通状況評価手法の枠組みについて提案する。

2. 幹線系道路の地震時機能障害に関する調査

2.1 既往地震による幹線系道路の被害

2.1.1 既往地震による被害の調査方針

地震により道路施設(道路橋、盛土、切土・斜面、トンネル等)、道路占用施設(地中埋設管、共同溝等)、道路沿道施設(建築物、電柱、ブロック塀等)に機能障害が発生すると、幹線系道路では通行規制を行わなければならない。

そこで、幹線系道路の障害危険度評価手法を作成するにあたり、考慮すべき事象を明らかにするために、既往地震における道路被害について調査を行った。調査対象地震は、近年に発生し被害が大きかった5地震とし、被害発生場所により、山

間部に被害が生じた地震(昭和53年伊豆大島近海地震)、市街地に被害が生じた地震(昭和53年宮城県沖地震、昭和58年日本海中部地震、平成5年釧路沖地震、平成5年北海道南西沖地震)、大都市直下型地震(平成7年兵庫県南部地震)の3種類に分類した。

調査方法は、兵庫県南部地震については道路管理者に対するヒアリングを行い¹⁾、その他の地震については、既往の被害調査報告書によった。

2.1.2 兵庫県南部地震における被災事例

兵庫県南部地震における調査範囲を表-1に示す。調査対象となった総管理延長は1,040kmであり、その区間で道路管理者が行った通行規制は232カ所にのぼった。通行規制の原因となった道路機能障害の調査結果は図-1に示すとおりであり、以下の事象が明らかとなった。なお、道路機能障害の種類は多岐にわたるため、関連事項をまとめて、大きく5項目に分類している。

(1) 通行規制をもたらした道路機能障害は、路面・付帯設備関連が最も多く、それに橋梁関連が続いている。

表-1 兵庫県南部地震における調査対象

道路管理者	管理延長	通行規制箇所数
兵庫県	520km (50%)	76件 (32%)
神戸市	260km (25%)	46件 (20%)
阪神公団	73km (7%)	64件 (28%)
兵庫国道	187km (18%)	46件 (20%)
合計	1,040km (100%)	232件 (100%)

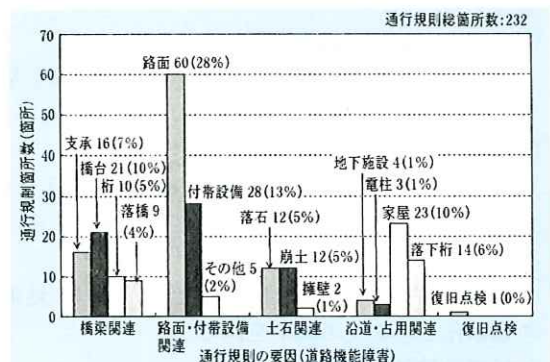


図-1 通行規制の原因となった機能障害

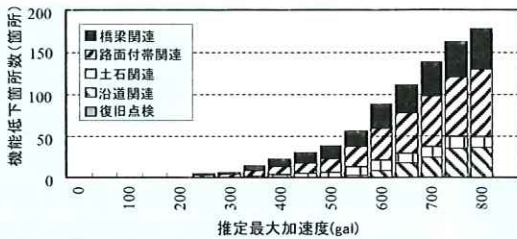


図-2 地表面最大加速度と機能障害箇所数

(2) 幹線系道路においても道路施設以外の沿道・占用関連の被害による通行規制が全体の約19%を占めており、道路機能障害を扱う上で、重要な要素である。

次に、別途推定された地表面最大加速度分布を用いて、通行規制をもたらした各種道路機能障害件数と地表面最大加速度の関係を累積グラフ形式にとりまとめた。結果は図-2の通りであり、各種施設被害による道路機能障害の一般的な傾向についてまとめると、以下の通りである。

(1) 全体的な傾向は、施設被害は地表面最大加速度が概ね200galを超えた地域で生じ始め、地表面最大加速度が概ね500galを超える地域で急増する傾向がある。

(2) 橋梁関連、路面・付帯設備関連の被害による機能障害は、地表面加速度が概ね200galを超える地域で生じ始める。

(3) 土石関連の被害による機能障害は、概ね300galを超える地域で生じ始め、500galを越える地帯で障害件数が頭打ちとなっている。

(4) 沿道・占用関連については概ね500galを下回る地域で機能障害が見られない。これは、幹線系道路の機能障害をもたらす被害が地下施設被害・電柱倒壊・家屋倒壊・道路上への桁落下など比較的大規模な被害に限定されており、これら被害は地表面最大加速度が小さな地域では生じにくいと考えられる。

2.1.3 既往地震における道路機能障害の復旧

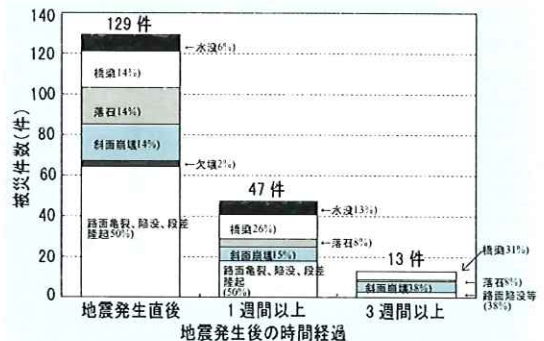
地震後の時間経過に伴う幹線系道路の被害の復旧状況を把握するために調査を行った。調査結果を、(a) 山間部の地震、(b) 市街地の地震、(c) 大都市直下の地震の3種類の分類毎に図-3に示す。調査結果より以下の結論が得られた。

(1) 山間部の地震においては、土石関連被害が多く、市街地の地震に比べて道路機能障害の解消に時間を要する。

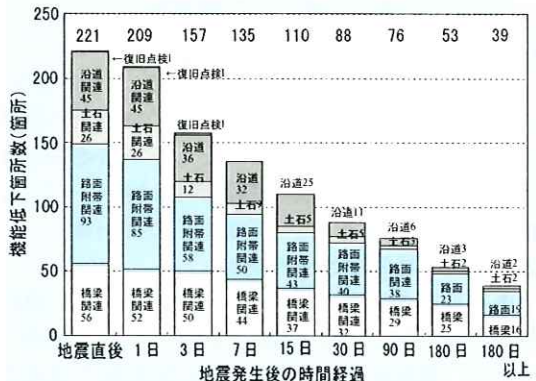
(2) 施設被害が多岐にわたる市街地の地震と大都市直下の地震では、施設被害件数や被害程度が



(a) 山間部の地震(伊豆大島近海地震)



(b) 市街地の地震(新潟、宮城、日本海中部)



(c) 大都市直下の地震(兵庫県南部)

図-3 通行規制を伴う道路機能障害の時間変化

異なるため定量的な比較は難しいが、道路機能障害を概ね9割解消するために、市街地の地震では3週間程度、大都市直下型の地震では180日以上要する。

(3) 兵庫県南部地震では、路面損傷が1日以内に復旧された箇所が多く見られる一方、6ヶ月以上の復旧期間を要した箇所も少なくない。これは、部分的に使用可能となり緊急輸送路として供用されている路線では、復旧作業に専念できず、完全復旧までに時間を要する場合があるためだと考えられる。

表-2 通行規制と道路機能障害の関係

道路機能障害 (施設被害等)	交通規制の種類							
	交通整理	広域交通規制	完全通行止	車重量規制	夜間通行規制	走行速度規制	一方通行	車線制限
1. 欠崩			●		●			
2. 亀裂、陥没、段差、隆起			●	●		●		●
3. 落石、土石崩壊			●		●			●
4. 上部工の傾斜、移動、落橋		●	●	●			●	
5. 支承部の損壊			●	●				
6. 橋脚、橋台、樫対の亀裂、剥離、基礎の破損			○	●			●	
7. 橋台の裏込め土の崩壊								●
8. 橋梁取付部の段差		●	●					
9. 歩道橋の被害			○					
10. 地下道の被害								
11. 信号機等の被害	●							
12. 地下埋設管の被害			●					
13. 建物の被害			○					●
14. 堰、石積の倒壊			●					○
15. 道路上への桁落下			○					○
16. 電柱、立木の傾斜、倒壊			●	●				
17. 浸水		●						
18. 市街地火災			○					
19. 避難、緊急輸送活動				○				
20. 車輛滞留								

●印：新潟地震、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震による通行規制例

○印：兵庫県南部地震により新たに生じた通行規制例

2.1.4 道路機能障害評価時の留意事項

評価対象として、主に市街地を想定しているが、兵庫県南部地震においては、既往の市街地の地震に比べて復旧に長期間を必要としている点に留意し、復旧時期の道路機能障害評価にあたっては、推定地震被害の質・量を考慮する必要がある。

2.2 道路機能障害と通行規制

既往地震の調査事例より、道路機能障害と道路管理者が実施した通行規制の関係について調査を行った。調査結果は、道路震災対策便覧²⁾を参考とし、表-2の通りとりまとめた。兵庫県南部地震は他の既往地震に比較して大規模な施設被害が多く生じたことから、橋梁・橋台の損傷、歩道橋被害、建物被害、道路上への桁落下による完全通行止めの事例が新たに見られた。幹線系道路の障害危険度評価にあたっては、この点に留意し、被害想定が過小評価にならないよう検討する必要がある。

3. 地震時の交通状況評価

3.1 幹線系道路の地震時の重要性

幹線系道路は、被災者の救命、消防、広域避難、緊急輸送等の活動に対して重要な役割を果たして

いる。平常時から幹線系道路の耐震性を評価し、予測される地震時の交通状況を把握することにより、道路管理者は効果的な構造物の耐震性向上等や訓練等を行うことが可能となる。また、地震時の幹線系道路状況を住民に分かりやすく提示することにより、地域の防災活動も支援することができる。

地震発生直後は、幹線系道路に区切られた町丁目程度の街区において、一時避難や住民による消火・救助活動等が行われる。その後、状況に応じて行われる大規模な消火・救助活動、広域避難活動、緊急支援物資の輸送等は、防災拠点(物流拠点や消防署等)から被災地区へ、あるいは被災地区から広域避難場所へと幹線系道路を利用して行われる。本研究においては、そのような活動の各地区への効果を評価するために、評価対象地域を各防災拠点が含まれる市町村程度の広がりとし、町丁目程度の被災地区(500～1,000m四方程度)を起終点とする緊急活動の効果という比較的ミクロな検討により評価を行う。

3.2 交通状況推計の枠組み

これまでに、道路施設の耐震性評価や道路ネットワークの脆弱性評価^{3),4)}については研究的な取り組みがなされているが、地震時の交通需要を含めた総合的な交通状況評価については、ほとんど検討がなされていないのが現状である。そこで、総合的な交通状況評価手法の枠組みとして、図-4に示すフローを提案する。この全体フローは、地域の防災対策担当者が、当該地域を含んだ自治体等の地震被害想定をベースに評価することを念頭において作成したものである。評価手法は、事前準備から交通状況の評価まで、大きく7つに分けており、その中で特に重要なモジュールは以下の3つであり、その内容を示す。

(1) 幹線系道路の障害危険度評価モジュール

道路施設被害・沿道占用施設被害・路上放置車両等による道路機能障害の評価を行う。

(2) 緊急活動に伴う交通需要推計モジュール

避難活動・救助活動・消防活動・物資輸送活動・復旧活動等の緊急活動に伴う交通需要の推計を行う。

(3) 交通状況シミュレーションモジュール

幹線系道路の機能障害を再現したネットワーク

上に、評価時期に応じた緊急活動に伴う交通需要及び背景交通需要をネットワーク配分シミュレーションを行う。

上記モジュールは、以下に示す本手法の基本方針に基づき、今後構築する。

(1) 沿道施設等まで含めた幹線系道路の被害と地震時の交通需要の両方を考慮した総合的な評価を可能とする。

(2) 地域防災計画と整合させることができ、一貫した検討を行うことを可能とする。

(3) 各計算システムは独立しており、将来的によりよい評価法が確立された場合、システムの変更

が容易である。

3.3 交通状況評価の前提条件

各地域において発生する地震は多様であるが、本研究の対象とするのはその地域において発生が予想される最大級の地震である。この地震については、各自治体において検討されており、地域防災計画として、対象とする地震や被害想定を検討結果がとりまとめられている。これら地域防災計画との整合を図るためには、その諸条件を前提とした手法が必要となるため、自治体が作成している地域防災計画を収集し、関係する項目について調査を行った。地震諸元・発災条件・気象条件等前提条件についての結果を表-3に示す。

各被害想定事例の前提条件として、地震規模、震源位置、季節、曜日、発生時刻、天候、風向・風力の7項目が多く地域で設定されている。また、半数以上の被害想定では、地震動強度分布予測も行われている。一般的な前提条件を表-4に示す。次に、被害想定事例の項目について表-5に示す。建物被害、火災、交通機関被害、ライフライン被害、人的被害の5項目が多く地域で想定されている。そ

表-4 一般的な地域防災計画の前提条件

条件項目	標準的な条件	その他
地震規模	平均 M7.4	最小 M6.7 ~ 最大 M8.0
震源位置	想定地震による	
季節	冬	比較対象として、夏、春、秋、梅雨をあげる所もある
曜日	平日	休日は比較対象としてもほとんどない
発生時刻	夕刻 (17~18時)	比較対象として朝夕ラッシュ時、昼12時、午後3~4時等比較的多い
天候	晴れ	梅雨時期設定以外は全て晴れを設定している
風向	北~北西	設定季節での平均的な風向きを設定となっている
風力	平均 5.6m/s	最小3.0 ~ 最大10.0m/sまでバラツキが大きい

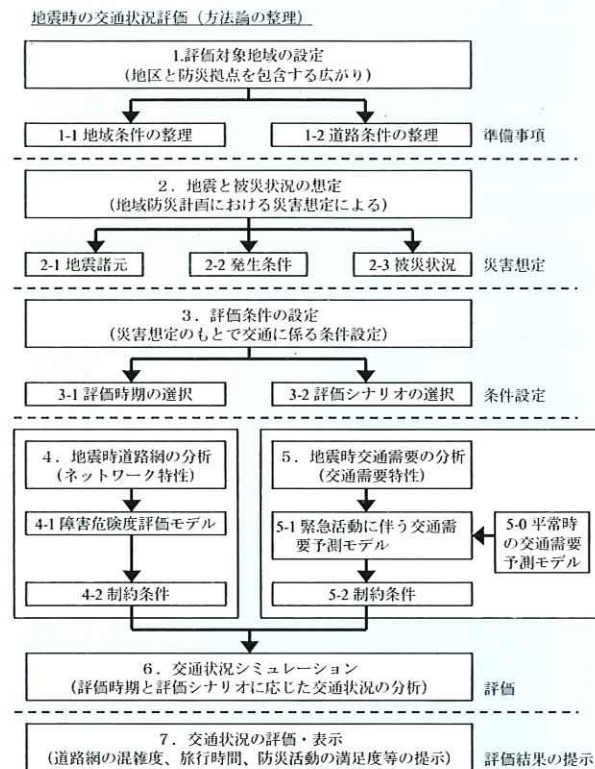


図-4 地震時交通状況評価の全体フロー

表-3 各自治体地域防災計画の前提条件

対象地域	小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防庁	国土庁
地震諸元	震源位置	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地震規模	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地震動強度分布予測	○	○		○		○	○	○		○
発災条件	季節		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	曜日			○	○	○		○	○		○
	発生時刻		○	○	○	○	○	○	○	○	○
気象状況	天候		○		○	○			○		○
	風向・風力	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	湿度				○		○				

*東京消防庁と国土庁は、地震による被害を推定するシステムの入力値を示している。

表-5 各自治体地域防災計画の被災想定

対象圏域	小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防庁	国土庁
建物被害	ゆれ	○		○	○	○	○	○	○	○	○
	液状化		○	○	○			○			
	斜面			○	○		○	○	○	○	
	ブロック塀		○	○	○	○	○	○			
	落下物		○	○	○	○	○	○			
火災	出火	○	○	○	○	○		○	○	○	
	延焼			○	○	○			○	○	
鉄道			○	○	○		○				
道路	高速道路				○		○		○	○	
	一般道路		○	○	○		○				
	緊急輸送路				○				○		
ライフライン	上水道		○	○	○	○	○		○	○	○
	下水道		○	○	○	○	○			○	○
	電力		○	○	○	○	○		○	○	○
	ガス		○	○	○	○	○		○	○	○
	電話		○	○	○	○			○	○	○
人的被害	死者	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	負傷者		○	○	○	○	○	○	○	○	○
帰宅困難者			○	○	○						
食料不足			○	○		○	○		○		
医療需給不足					○						
教育制約					○						
ガレキ発生量			○	○	○						
就業制約者					○						
津波災害						○	○	○	○		
河川堤防被害				○			○				
ため池被害				○							
その他			港湾被害・コンビナート被害	閉塞バス数、閉塞バス率		重要施設機能支障評価	地すべり被害想定、福井空港の地震時加速度、港湾、漁港の被害				

表-6 シナリオの概要

シナリオ名	評価の視点	適用対象期間		
		短期	中期	長期
ベースシナリオ	震災直後の時期に現在の自分たちの住んでいる町の幹線道路を利用した、防災活動の安全性を把握する	○		
交通条件が厳しいシナリオ	最も交通条件が厳しい場合の状況を把握する	○	○	○
防災対策を行ったシナリオ	最も交通状況が厳しい場合における緊急・災害復旧車両等の交通を円滑に行うための対策の効果を把握する	○	○	○

ため、この時間の交通量を前提条件とするシナリオである。他の条件については、検討していない地域防災計画も多いので、冬の夕方で検討したベースシナリオと同じ条件とする。

(3) 防災対策を行ったシナリオ

地震後に道路管理者等が行う車輛の通行規制等の対策の効果を検討したり、道路の耐震性を向上させた場合の効果について検討するシナリオ。防災対策の影響を考慮した道路ネットワークを作成し、交通条件が厳しいシナリオと同じ交通を発生させて、評価を行う。

の他では、地域の特徴から、津波の被害を算定したり、河川堤防の被害を算定した地域がある。また、災害後の救援、復旧を意識した避難所収容者数やガレキ発生量等を算定している地域もある。

3.4 シナリオ設定の考え方

地震後の交通状況は、発災時間の交通状況、防災対策の内容等により、大きく変化する。様々な状況を考慮して評価、検討を行うことは時間、労力等の点から望ましくないため、交通管理の視点から表-6に示す3種類の代表的なシナリオを設定し、その考え方をとりまとめた。

(1) ベースシナリオ

地域防災計画の前提条件をそのまま適用し、地域防災計画と整合した交通状況を把握するシナリオとする。

(2) 交通条件が厳しいシナリオ

地域防災計画の地震発生時刻は、表-4に示すように、火災発生等の被害が最大となる冬の夕方に設定している。主眼である交通状況においては、交通量が多い朝の通勤時間の方が厳しい状況となる

表-7 交通状況の評価時期

評価時期	短期的評価		中期的評価		長期的評価	
場面区分 (時間目安)	被災期 ～ 30 分	混乱期 ～ 3 時間	救援期 ～ 3 日	応急復旧期 ～ 1 週間	復旧期 ～ 3 箇月	復興期
時期の特徴	非組織的活動： 状況確認と安全確保 組織的活動： 人命救助と災害拡大防止		非組織的活動： 生活環境の仮確保 組織的活動： 被災者支援と緊急措置		非組織的活動： 生活環境の再構築 組織的活動： 災害復旧と被災者ケア	
道路を利用する主要な活動	非組織的活動： 安否確認、救出、帰宅 組織的活動： 救急・救助・消火・消防		非組織的活動： 避難、見舞、物資搬送 組織的活動： 医療・救護、物資搬送、緊急措置		非組織的活動： 復旧行動、物資搬送 組織的活動： 復旧活動、瓦礫処理	
交通評価の視点	地域住民の視点： 地域の状況想定、各種防災対策の検討 交通管理の視点： 規制効果の確認・明示					交通管理の視点： 交通管理方策の検討

3.5 交通状況評価の時期区分

被災者が必要とする緊急活動は地震後の時間経過に応じて変化していく。あらゆる時期において評価を行うことはケース数が多すぎて現実的でないため、時間経過においても緊急活動内容の変化により、状況が厳しくなると考えられる主要な場面を選定する。緊急活動について調査した結果を表-7に示す。評価時期については、以下の3種類とした。

(1) 短期(被災期～混乱期)

地震直後3時間程度までの混乱した時期の評価を行う。地震による1次被害が収まったところ、被災状況が不明なまま、外出先から自宅へ向かう車輛等で渋滞が起こる時期と考えられる。代表的な時間は、地震発生後3時間とする。

(2) 中期(救援期～応急復旧期)

地震発生後3時間から1週間の間の、混乱が収拾し応急復旧が行われている時期の評価を行う。道路の応急復旧時に、緊急物資輸送車両、個人の物資輸送等により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1週間とする。

(3) 長期(復旧期～復興期)

地震発生後1週間以降の復旧が行われている時期の評価を行う。道路が完全に復旧しきらない状況で、復旧のための建設車輛と回復した日常交通により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1箇月とする。

4. 結論

本報告のまとめは以下のとおりである。

- (1) 幹線系道路の機能障害の要因について調査し、大都市直下の地震では、既往の地震時に見

られなかった施設被害による完全通行止めの事例が生じていること、施設被害による道路機能障害の復旧に長期間が必要であることが明らかとなった。これらを実評価手法に適切に考慮する必要がある。

(2) 道路施設の耐震性評価、ネットワークの脆弱性評価、地震時の交通需要推計を含めた総合的な地震時の交通状況評価手法の枠組みを提案した。

(3) 地震後の交通状況評価を行うべき3種類のシナリオ(ベースシナリオ、交通条件が厳しいシナリオ、防災対策を行ったシナリオ)の設定の考え方と、3種類の評価時期(短期[地震直後3時間程度まで]、中期[地震発生後3時間から1週間程度]、長期[地震発生後1週間程度以降])について、提案した。

今後、実際の地域によるケーススタディーを行いながら、本報告で提案した評価の枠組みの適用性を具体的に調査し、各モジュールを構築する予定である。最後に、本検討に際しては、(財)国土開発技術センターに設けられた「まちづくりにおける防災・評価対策技術の開発全体委員会」(伊藤滋委員長)、「防災性能評価分科会、地区施設等効果分析幹事会」(家田仁主査)等において種々有益なご指導を賜った。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 土木研究所：占用・沿道施設の耐震性評価に関する調査(その1)平成7年兵庫県南部地震における被災調査、土木研究所資料第3557号、1999.1
- 2) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編、震災復旧編)、1988.2；(震後対策編)、1996.10
- 3) 土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その1)、土木研究所資料第3589号、1998.9
- 4) 土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その2)、土木研究所資料第3621号、1999.1

杉田秀樹*



建設省土木研究所
耐震技術研究センター
防災技術課長、工博
Dr.Hideki SUGITA

大谷康史**



同 防災技術課研究員
Yasushi OHTANI