

平成29年度 共同利用研究報告書

平成 30年 3月 30日

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所長 殿

所属・職名 岡山大学大学院環境生命科学研究科・准教授

提案者 氏名 (ふりがな) 珠玖 隆行

下記の通り共同研究の報告をいたします。 記

		※整理番号	20170002	
1.研究計画題目	土木工学とデータ科学の融合による革新的な構造物健全度診断手法の開発			
2.種別 (○で囲む)	a. 研究集会 I	b. 研究集会 II	c. 短期共同研究	d. 短期研究員
3.研究代表者	氏名 <small>(ふりがな)</small>	珠玖 隆行 <small>しゆく たかゆき</small>		
	所属	岡山大学		職名
	部局名	大学院環境生命科学研究科		准教授
	連絡先			
e-mail		TEL		
4.研究実施期間	平成29年10月23日(月曜日)～平成29年10月24日(火曜日)			

5.参加者数・参加者リスト (*別紙「共同利用研究報告書作成上の注意」参照)

(a,bは参加者数のみ記入し,集会参加者リストを添付.cの非公開プログラム参加者とdは参加者リストに記入.cは公開プログラムを含めた全参加者数を記入し,公開プログラム参加者リストを添付.)

参加者数: 13 人

参加者リスト (a,bは記入不要, cは非公開プログラム参加者, dは共同研究参加者を記入)

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属	職名	氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属	職名
珠玖 隆行 <small>しゆく たかゆき</small>	岡山大学	准教授	たさき そう 田崎 創 <small>たさき そう</small>	東北大学	助教
吉田 郁政 <small>よしだ いくまさ</small>	東京都市大学	教授	なかじま ちひろ 中島 千尋 <small>なかじま ちひろ</small>	東北大学	助教
にしお 真由子 <small>にしお まゆこ</small>	横浜国立大学	准教授	こいけ あつし 小池 敦 <small>こいけ あつし</small>	一関工業高等専門学校	准教授
栗田 哲史 <small>くりた てつし</small>	東電設計株式会社		ゆうき つば 結城 千 <small>ゆうき つば</small>	岡山大学	M2
いまい 道男 <small>いまい みちお</small>	鹿島建設株式会社		はらだ あや 原田 文 <small>はらだ あや</small>	岡山大学	M1
にのみや よしゆき 二宮 嘉行 <small>にのみや よしゆき</small>	九州大学 MI 研究所	准教授	おぐら りょうや 小倉 諒也 <small>おぐら りょうや</small>	岡山大学	B4
たさき ようすけ 田崎 陽介 <small>たさき ようすけ</small>	東京都市大学	M2			

6.本研究で得られた成果の概要

本共同研究では,社会資本ストックの維持管理における技術的な課題を解消するため,産業界及び土木工学,数学・数理科学,情報科学の研究者との議論を通じて,土木工学における有効なデータ解析手法およびその構造物の健全度診断・維持管理手法について議論した.参加者からの話題提供を通して,土木構造物の維持管理に貢献する方法論や理論を中心に議論が展開された.成果として,共同研究の議論を通じて土木工学における維持管理の研究に関する以下の方向性が示された.

- 情報工学とのコラボレーションによる大規模データの効率処理の研究
- 土木工学におけるデータの解析およびモデル化に対する一般化混合モデルや階層ベイズ法の適用
- 識別不能モデルの存在の認識と適切なモデル選択理論の使用

また,本研究を通して,土木工学で一般的もしくは慣用的に用いられているデータ解析やモデル化の理論的な問題点および誤用についても知ることができ,それも本短期共同研究の大きな成果である.

平成 29 年度 IMI 共同利用研究（短期共同研究）

報告書

「土木工学とデータ科学の融合による革新的な構造物健全度診断手法の開発」

研究代表者：珠玖 隆行（岡山大学）

1. はじめに

1.1 研究背景

我が国の社会資本（インフラ）は高度経済成長期（1950～1970年）に集中的に整備されており、今後、建設後50年を経過する社会資本が急増していくことが予想されている。図1は、建設年度別の施設数を表しているが、1960年から1980年に整備された施設群が我が国における社会資本ストックの大多数を占めることがわかる。社会資本の供用年数は明確ではないが、設計供用期間はおよそ50年と言われており、今後も大量の社会資本の老朽化が進行し、その中には構造物としての要求機能を満たさないものも出てくる可能性が考えられる。

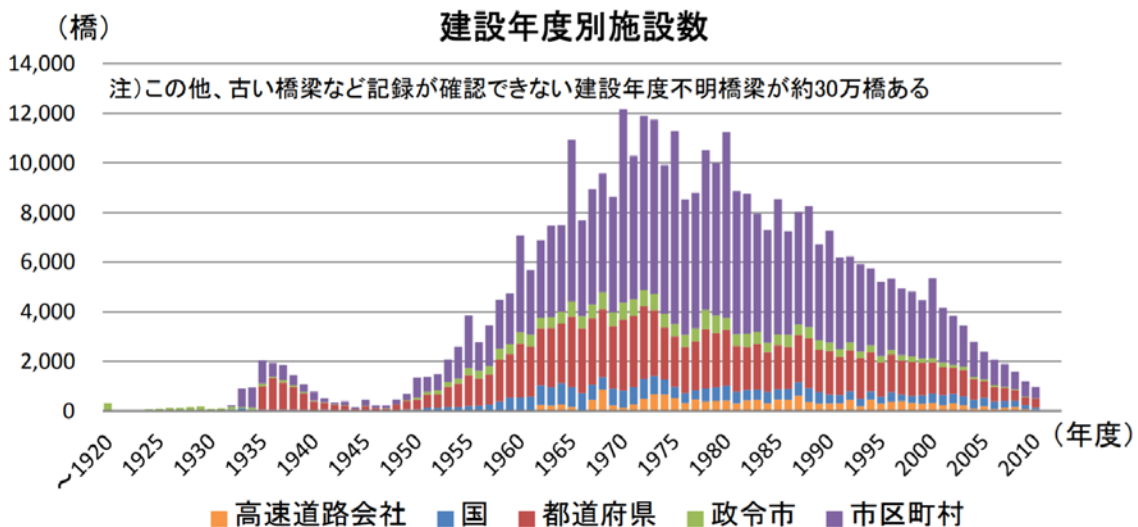


図1 建設年度別施設数¹⁾

このような莫大な社会資本ストックを今後どのように維持管理し、それらの性能を保証していくかは我が国における喫緊の課題であることは以前より指摘されている。さらに、2012年12月の笹子トンネル天井板落下事故の発生を受けて、2013年には道路法が改正され道路の点検を行うべきことが明確化された。

社会資本の維持管理は、点検による既設構造物に関するデータの収集、データ・データ解析に基づく状態の評価、状態に応じた対策の適用、といったプロセスで実施される。点検に関しては、道路法が改

正され点検が義務化されたこと、および近年の計測機器の著しい発達・その低廉化により、非常に多量で多種類のデータが容易に得られるような現状にある。しかしながら一方で、多量のデータをどのように解析し、どのように構造物の状態評価に利用すればいいのかについて、オーソライズされた方法はないのが現状である。データの解析・利用は、個々の技術者の裁量に委ねられており、例えばデータの解析に慣れていない技術者にとっていわゆる「ビッグデータ」は無用の長物となりえ、データを解析すること・利用することを放棄（データの死蔵）してしまう例もある。また、解析を行った場合であっても、解析手法（理論）の誤用（平均値・相関係数の乱用など）も散見される。

1.2 研究目的

本短期共同研究では、「1.1 研究背景」において示した、社会資本ストックの維持管理における技術的な課題を解消するため、産業界及び土木工学、数学・数理科学、情報科学の研究者との議論を通じて、土木工学における有効なデータ解析手法およびその構造物の健全度診断・維持管理手法について議論する。

2. 共同研究の概要

2.1 プログラム

本共同研究では、参加者による話題提供を行い、話題提供中および話題提供後に議論するという形式で進めた。次頁の表 1 に話題提供者およびその内容をまとめる。なお、共同研究開催日の前日から当日にかけて、台風 21 号が九州および本州に上陸し、空の便の欠航および鉄道の運転中止が相次いだ。そのため、3 名の参加者が参加することができず、当初予定していた内容の話題提供やディスカッションが実施できなかったことを付記する。キャンセルされた話題提供の時間を利用し、3 日目に予定していた非公開討論を実施することとし、3 日目の非公開討論は実施しなかった。

次節より、共同期間中の話題提供の内容および議論の内容について（いくつかのトピックについては重点的に）示す。

2.2 話題提供および議論の内容

1) 23 日 13:20-14:00

東電設計株式会社の栗田氏による「健全性照査用の外力設定に係る最適化問題」に関する話題提供があった。栗田氏は電力設備の設計実務に携わっており、その中でも設備設計時に必要な外力（荷重条件）をデータから推定する逆問題や最適化問題に取り組んでいる。

発表では、はじめに津波波源のインバージョンについて説明があった。電子基準点（GPS 観測点）による地殻変動や GPS 波浪計による沖合津波記録が利用できるようになり、また、東日本大震災の際にも多くの観測記録が得られている。これらのデータを用いて、震源断層のすべり量を推定しようとする研究である。正確な外力の推定は、新設構造物だけでなく、既設構造物の安全性を照査する上でも重要なトピックである。

まず、種々の観測データと断層のすべり量を次式で表す。

$$\mathbf{Z} = \mathbf{G} \times \mathbf{X} \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{Z} は観測量ベクトル（既知量）、 \mathbf{G} はグリーン関数行列（既知量）、 \mathbf{X} は断層すべり量のベクトル

表 1 話題提供者および発表内容

日 時	話題提供者 (所属)	発表内容・タイトル
2017. 10. 23		
13:00-13:20	珠玖隆行 (岡山大学)	開会ならびに趣意説明
13:20-14:00	栗田哲史 (東電設計)	健全性照査用の外力設定に係る最適化問題
14:00-15:00	中島千尋 (東北大学)	電子線 CT と実データによる再構成結果の信頼性評価
15:20-16:20	大竹 雄 (新潟大学)	既設土木構造物の安全性評価の動向とニーズ
16:20-17:20	中澤 崇 (大阪大学)	数理・データ科学の融合による流れ場の形状最適化問題
2017. 10. 24		
9:30-10:20	西尾真由子 (横浜国立大学)	桁端部腐食のある鋼橋モデルパラメータ事後分布推定のためのセンシング項目検討
10:20-11:10	小池 敦 (一関高専)	大規模グラフデータ処理における索引構造
11:30-12:20	野村泰稔 (立命館大学)	深層学習による機械・土木構造物の点検業務の効率化に関する検討
13:40-14:10	今井道男 (鹿島建設)	光ファイバセンサによる PC 橋梁モニタリング
14:10-15:00	田崎創平 (東北大学)	枯草菌の集団形態の予測と最適化
15:20-16:10	吉田郁政 (東京都市大学)	スパースモデリングの土木工学分野への応用
16:10-17:10	二宮 嘉行 (九州大学)	【招待講演】 スパース推定におけるチューニングパラメータの選択について
2017. 10. 25		非公開討論

※ グレーで塗りつぶした箇所は台風の影響によってキャンセルされた

ル（未知量）を表す。通常、未知パラメータの数<観測データの数となり、優決定問題となる。

未知パラメータベクトル \mathbf{X} は次式で示される目的関数を最小化する \mathbf{X} で与えられる。

$$J = \frac{1}{2}(\mathbf{Z} - \mathbf{GX})^T \mathbf{W}(\mathbf{Z} - \mathbf{GX}) \quad \text{制約条件 } \mathbf{X} > 0 \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{W} は重み行列である。断層のすべり量は負にならないと仮定しており、 \mathbf{X} に関して非負の制約条件が課されている。さらに、断層のすべりに対しマルチタイムウィンドウモデルを用いた、すべり量の時間方向のモデル化も実施されている。

上記の方法によりすべり量（およびその時間変化）が同定され、同定されたすべり量を用いて計算した地殻変動量および津波潮位の時刻歴変動結果が、それぞれの観測データと非常に良い対応を示していることが示された。また、式(2)における制約条件の有無がすべり量の同定結果に及ぼす影響についても示され、制約条件を考慮することによって、現実的な同定結果が得られることも示された。

この研究内容に対して、式(2)における制約条件の妥当性についての議論があり、制約条件として式(2)を解くのではなく、正則化項のような形で目的関数に加えることで、解析として扱いやすい関数になる可能性がある、との提案があった。また、マルチタイムウィンドウモデルにおいて、ウィンドウ幅を決定する必要があるが、その決定方法についての議論も展開された。現在は赤池の情報量基準（Akaike Information Criterion）によってその数が決定されているが、ウィンドウ幅を決定する問題自体が識別不能性を持つ問題の可能性があり、その場合、AIC では最適な数を決められない可能性がある、という意見があった。土木工学におけるデータ解析においては、問題の「識別不能性」についてはほとんど検討され意識すらされていない現状であり、非常に有益な議論が展開された。

次に、地震記録による地盤物性の同定問題に関する話題が提供された。構造物の設計の際には、数値シミュレーション上で地盤・構造物に地震動を与え、その挙動を評価する方法が一般的に実施されている。この評価法の中でも、地盤構造およびその物性が設計計算結果にもっとも影響を及ぼす重要なファクターであり、地盤構造と物性を観測データに基づいて同定するというのが発表された研究の概要である。この研究では、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, GA）により地盤構造、物性の同定が行われており、PS 検層で同定された地盤構造と比較によって、同定精度について考察されている。さらに解析結果から、バラエティーに富んだ周波数と減衰比の関係（回帰モデル）が得られており、そのモデル化（解釈の方法）についての紹介があった。種々の条件で検討された回帰モデルを地形分類によって整理した結果、および S 波速度で整理した結果が示され、うまくクラスタリングすることで、これらのモデルの違いを説明できる、という発表であった。

周波数と減衰比の回帰モデルの内容に関して、一般線形回帰モデルを適用することで、合理的に説明できる可能性があるとの提案があり、その具体的方法について議論があった。その内容については、次章で示す。

2) 23 日 14:00-15:00

東北大学の中島氏による「電子線 CT と実データによる再構成結果の信頼性評価」に関する話題提供があった。電子線 CT を用いて金のナノポーラス構造を再構成するという研究で、CT や画像再構成は典型的な逆問題であり、その逆問題に対して、スパースモデリングを適用するという内容であった。スパースモデリングは、短期共同研究のキーワードであり、吉田氏（東京都市大学）および二宮氏（九州大学 MI 研究所）の発表内容のトピックであることから、ある程度紙面を割いてその概要を説明する。

スパースモデリングとは、未知パラメータの数が計測データの数よりも少ない逆問題、いわゆる劣決定問題の解法と考えることができる。この劣決定問題は、計測データが少ないため解が求まらない。そこで、何か情報や条件を追加して解かなければならない。その事前情報の一つに、「 \mathbf{x} のほとんどの要素は0である」というものが考えられる。これは、「解はスパースである」と表現することもできる。アバウトな説明ではあるが、もし $m < n$ であったとしても、 \mathbf{x} の多くがゼロであれば、すなわち非零成分の個数 k が n よりも小さければ、解を求めることができる。その説明を図2に示す。この、未知パラメータベクトルに多くのゼロを含む性質をスパース性という。

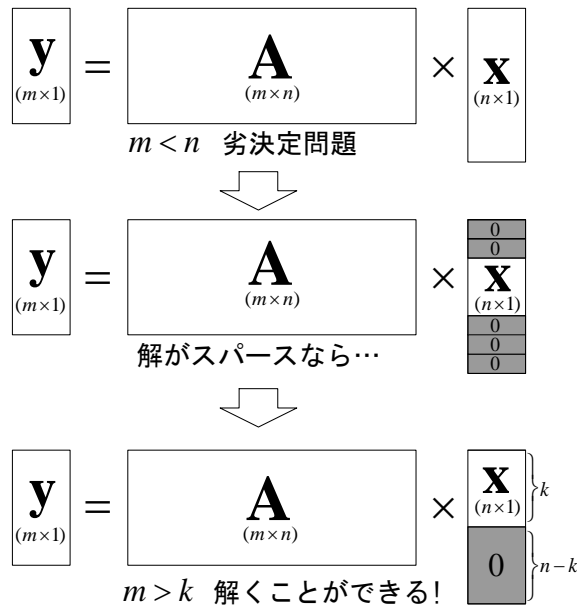


図2 スパースな解

解にスパース性が期待できるなら、以下の式を解くことで、未知パラメータベクトル \mathbf{x} を求めることができる。

$$\min \|\mathbf{x}\|_0 \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{y} = \mathbf{Ax} \tag{3}$$

ここで、 $\|\mathbf{x}\|_0$ は L_0 ノルムと呼ばれ、ベクトル \mathbf{x} の成分のうち、非ゼロ項の個数を表す。そのため式(3)は、方程式(1)を満たしつつ非ゼロ項を最小にする問題を解くことを意味する。式(3)を解くことでスパースな解が得られるが、そもそも解の中にどれだけのゼロの項が存在するのか、どこに存在するかは不明である。この問題は、全ての基底の組み合わせを試さないと最適解が得られない組み合わせ最適化問題であり、「NP 困難」であることが知られている。

そこで、式(3)を解くことを諦めて、代わりに次式を解くことを考える。

$$\min \|\mathbf{x}\|_1 \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{y} = \mathbf{Ax} \tag{4}$$

ここで、 $\|\cdot\|_1$ は絶対値ノルム (L_1 ノルム) を表している。なぜこの問題を解けば、スパースな解が得られるのであろうか。その説明をノルム最小化との比較も併せて図3に示す。例として、 $x_1 + x_2 = 10$ の方程式 (これを観測線と呼ぶ) から、未知パラメータ x_1, x_2 を推定する問題を考える。この問題は劣決定問題であり、1本の観測線だけから解を一意に決めることができないので、 L_2 ノルム (円) もしくは L_1 (ダイヤモンド) のノルムを最小化するという条件を加え、解を求める。解を求めるということは、

図3において、観測線とノルムのコンターとの交点を求めることに対応している。L2 ノルムでは、観測線との接触点は $x_1 = 4, x_2 = 2$ となり、L1 ノルムでは $x_1 = 5, x_2 = 0$ となる。L1 ノルムでは x_2 がゼロとなっており、スパースな解が推定されていることがわかる。ここでは説明の便宜上、2次元の例を示したが、未知パラメータが多次元になった場合でも同様な考え方でスパースな解が選択される。

実際の観測データを扱う場合には、データに含まれる誤差を考慮する必要がある。そのため、式(4)の代わりに、次式を解くことが一般的である。

$$\min \left\{ \frac{1}{2\lambda} \|\mathbf{y} - \mathbf{A}\mathbf{x}\|_2 + \|\mathbf{x}\|_1 \right\} \quad (5)$$

ここで、 λ は正則化パラメータであり、確率論から解釈すると誤差分散を意味する。なお、L1 ノルムを正則化項として用いた回帰は Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)²⁾と呼ばれる。一方、式(5)において、L2 ノルムを正則化項として用いた回帰は Ridge 回帰と呼ばれ、劣決定問題を解く際にこれまで一般的に用いられてきた方法である。

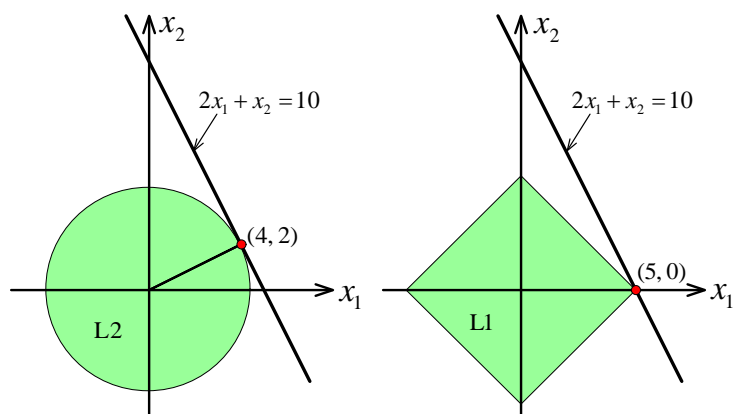


図3 リッジ回帰(L2 ノルム)とスパース推定(L1 ノルム)

ここまでスパースモデリングの概要を示したが、中島氏の研究、金のナノポーラスの再構成は、得られる計測データが少ないが、未知パラメータは多いという典型的な劣決定問題である。中島氏は解のスパース性をうまく誘導し、既存の方法と比較してより精度よく構造の再構成が実現できたという内容であった。さらに中島氏は、そのようにして再構成された結果の信頼性について検証する方法論を提案しており、その内容についても簡単に紹介があった。この評価方法に対して、例えば式(3)のAマトリックスの階数(rank)で評価することはできないのか、や、提案手法のアプローチは面白いが、信頼性評価手法の妥当性はどのように評価されるのかなどについての質問およびそれらに対する議論があった。

3) 24日 9:30-10:20

横浜国立大学の西尾氏による「桁端部腐食のある鋼橋モデルパラメータ事後分布推定のためのセンシング項目検討」に関する話題提供があった。西尾氏は、橋梁の振動計測や目視点検などのデータに基づいて、土木構造物、とくに橋梁の(劣化)状態をベイズ推定により評価している。また、計測データの追加によってどのように事前情報が更新されるのか、計測することの設計・維持管理実務上の意義についても定量的に示しており、発表ではその一例も示された。西尾氏はベイズ推定をサロゲートモデルに基づくマルコフ連鎖モンテカルロ法(Markov Chain Monte Carlo method, MCMC)によって評価している

が、サロゲートモデルをどのように構築しているのか、関数形や基底としてどのようなものが用いられ、それらの妥当性についての議論があった。

4) 24日 10:20-11:10

一関高専の小池氏による「大規模グラフデータ処理における索引構造」に関する話題提供があった。内容は経路探索問題において探索を効率的に行うための「索引構造」の概要と、その効果に関する話題提供があった。小池氏の発表は、土木構造物の工程管理や維持管理の最適化にも応用可能な内容であり、情報科学分野と土木工学分野のコラボレーションの必要性を感じさせる内容であった。

経路探索問題においては、古典的なダイクストラ法が用いられているため、まず、ダイクストラ法の方法論や計算時間などの概要について説明があり、その後、計算効率を向上させるための方法についての解説があった。高速化のための基本アイデアは、経路探索処理を

- ① 前処理フェイズ：道路ネットワークから索引を作成
- ② クエリフェイズ：索引を使って高速計算

の2フェイズに分割するというものである。「索引」というのは、所望のデータへのアクセスを高速化するための補助データを意味し、現在のWeb検索が極めて高速であるのも索引構造によるものであるとの解説があった。その後、索引を用いた経路探索の事例の紹介があり、データの前処理が必要となるが索引によって計算負荷を低減できる結果が示された。発表に関して、経路探索における目的関数の設定方法や索引の作成方法などに関する質問があり、それらの議論が展開された。

5) 24日 13:40-14:10

鹿島建設の今井氏による「光ファイバセンサによるPC橋梁モニタリング」に関する話題提供があった。光ファイバセンサという新しい計測機器をPC橋梁の施工中に設置することで、高い精度で橋梁の状態（応力、ひずみ）を計測できるとの内容であった。

6) 24日 14:10-15:00

東北大学の田崎氏による「枯草菌の集団形態の予測と最適化」に関する話題提供があった。枯草菌と呼ばれる菌の実験結果に基づいて、その集団形態の動的な挙動を数理モデル化した結果の報告であった。土木工学においても、材料試験で観測された結果に基づいて数理モデルを構築することが一般的に行われている。現在設計実務で用いられているコンクリートや地盤材料の数理モデルも同様の過程で提案されたものである。田崎氏の専門は数学（PDE）であり、厳密なモデル化の方法およびその解法に関する紹介があり、厳密なモデル化の重要性が強調された。

6) 24日 15:20-16:10

東京都市大学の吉田氏による「スパースモデリングの土木工学分野への応用」に関する話題提供があった。吉田氏は、先述したスパースモデリングを土木工学の問題に適用している。今回は、ボーリングデータに基づいた地盤物性の同定問題を中心とした内容であった。

先述した式(5)を効率的に解くためのアルゴリズムとして種々のものが提案されているが、その中でも汎用性が高いとされる交互方向定数法（Alternative Direction Method of Multiplier, ADMM）⁰⁰⁾を用いており、その解説があった。以下にその概要を示す。

ADMMでは、次式のようにふたつの関数からなる目的関数の最小化問題を考える。

$$\min_{\mathbf{x}}(f(\mathbf{x}) + g(\mathbf{x})) \quad (6)$$

ふたつの変数 $\mathbf{x}_f, \mathbf{x}_g$ を導入して制約条件付き最小化問題に置き換える.

$$\min_{\mathbf{x}_f, \mathbf{x}_g}(f(\mathbf{x}_f) + g(\mathbf{x}_g)) \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{x}_f - \mathbf{x}_g = \mathbf{0} \quad (7)$$

拡張ラグランジュ法を用いて次の目的関数の最小化問題として解く.

$$J = f(\mathbf{x}_f) + g(\mathbf{x}_g) + \mathbf{h}^T(\mathbf{x}_f - \mathbf{x}_g) + \frac{\mu}{2} \|\mathbf{x}_f - \mathbf{x}_g\|_2^2 \quad (8)$$

ここで, \mathbf{h}, μ はラグランジュの未定係数とペナルティ項の重みを表す. Lasso 型の最小化問題に ADMM を適用する場合, $f(\mathbf{x}_f), g(\mathbf{x}_g)$ はそれぞれ次式で与えられる.

$$f(\mathbf{x}_f) = \frac{1}{2\lambda} \|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}_f\|_2^2, \quad g(\mathbf{x}_g) = \|\mathbf{x}_g\|_1 \quad (9)$$

ここで, λ は観測情報と事前情報のバランスを決める定数で, 解に大きく影響する.

$$\mathbf{x}_f[k+1] = \arg \min_{\mathbf{x}_f} \left\{ \frac{1}{2\lambda} \|\mathbf{y} - \mathbf{A}\mathbf{x}_f\|_2^2 + \frac{\mu}{2} \|\mathbf{x}_f - \mathbf{x}_g[k] + \mathbf{u}[k]\|_2^2 \right\} \quad (10)$$

$$\mathbf{x}_g[k+1] = \arg \min_{\mathbf{x}_g} \left\{ \|\mathbf{x}_g\|_1 + \frac{\mu}{2} \|\mathbf{x}_f[k+1] - \mathbf{x}_g + \mathbf{u}[k]\|_2^2 \right\} \quad (11)$$

ここに, \mathbf{u} は煩雑さを減らすために導入した変数で, 次式で与えられる.

$$\mathbf{u}[k] = \frac{\mathbf{h}[k]}{\mu} \quad (12)$$

式(10)は変数 \mathbf{x}_f に関する二次関数であることを考慮すると, \mathbf{x}_f の更新は具体的に次式で与えられる.

$$\mathbf{x}_f[k+1] = \left(\frac{1}{\lambda} \mathbf{A}^T \mathbf{A} + \mu \mathbf{I} \right)^{-1} \left(\frac{1}{\lambda} \mathbf{A}^T \mathbf{y} + \mu(\mathbf{x}_g[k] - \mathbf{u}[k]) \right) \quad (13)$$

また, 式(11)の最小化には, 軟判定閾値関数 S (Soft thresholding function) を用いて算定することができる.

$$\mathbf{x}_g[k+1] = S_{1/\mu}(\mathbf{x}_f[k+1] - \mathbf{u}[k]) \quad (14)$$

$$S_{1/\mu}(x) = \begin{cases} x - 1/\mu & (x > 1/\mu) \\ 0 & -1/\mu \leq x \leq 1/\mu \\ x + 1/\mu & x < -1/\mu \end{cases} \quad (15)$$

また, ラグランジュの未定係数に関する項は次式で更新される.

$$\mathbf{u}[k+1] = \mathbf{u}[k] + (\mathbf{x}_f[k+1] - \mathbf{x}_g[k+1]) \quad (16)$$

吉田氏の発表では, 地盤構造の推定問題が取り上げられていたが, 地盤構造は連続しており, 通常会ではスパースではない. スパースモデリングを利用するとき疑問となるのが, 「解はスパースなのか?」ということであるが, 解がスパースでなければ, 解がスパースになるように工夫 (モデリング) することでスパースモデリングが有効に機能するとの説明があった. スパースな解を誘導する手段として, 全変動微分 (Total Variation, TV) が紹介された.

吉田氏の発表に関して空間分布推定の定式化（クリギング）への質問およびスパースな解の誘導方法に関するディスカッションがなされた。

7) 24日 16:10-17:10

九州大学 MI 研究所の二宮氏による招待講演があり、テーマは「スパース推定におけるチューニングパラメータの選択について」であった。二宮氏は式(5)における正則化パラメータの選択に関して、数理統計的に検討している。また、識別不能性を持つモデルにおけるモデル選択についても検討しており、発表はその2つのトピックに関してであった。概要を以下に示す。

モデル選択の方法として、先述した AIC が用いられることが多いが、モデルの候補数が p 個あり、 p が極めて大きい場合、そのすべてに対して AIC を計算し、モデル選択を実施することは計算量の観点から不可能である。そのため、以下のステップワイズ法でモデル選択が行われることが多い。

- ・変数増加法：無変数モデルから始めて情報量規準を最も減らす変数を一つずつ追加していく
- ・変数減少法：フル変数モデルから始めて情報量規準を最も減らす変数を一つずつ削除していく
- ・変数増減法：無変数モデルから始めて情報量規準を最も減らす変数を一つずつ追加か削除かしていく

しかしながら、上記の方法を用いたとしても p が極端に多い場合は依然として計算は困難であり、ステップワイズ法で推定されたモデルと AIC を最小にするモデルは異なることが指摘されている。このような問題を解決し、モデル選択と推定を同時で行う方法としての Lasso が紹介された。Lasso における正則化パラメータはモデルの複雑さをコントロールするパラメータであり、このパラメータをどのように選択するかが重要な問題となる。二宮氏は Lasso のための情報量基準を新たに提案しており、その適用性と妥当性についての紹介があった。

二つ目の話題は識別不能性を持つモデルに対するモデル選択であった。混合分布モデルにおける混合分布数の選択やニューラルネットワークモデルの選択も識別不能な問題であり、従来のモデル選択方法では、妥当な結果が得られないことが説明された。発表の中では、二宮氏が提案したモデル選択方法とその適用例が示された。

発表に対し、提案した Lasso のための AIC は正則化項に空間勾配の項を持つような場合にでも拡張できるのかどうかといった質問や、それに関する議論が展開された。また、混合分布は土木工学におけるデータ解析でも用いられる方法であるが、混合数を決める際に通常の AIC や BIC では問題が生じるのか、その問題はどこにあるのかなどのディスカッションが展開された。

3. 成果

本共同研究では、参加者からの話題提供を通して、土木構造物の維持管理に貢献しうる方法論や理論を中心に議論が展開された。成果として、共同研究の議論を通じて土木工学における維持管理の研究に関する以下の方向性が示された。

- 情報工学とのコラボレーションによる大規模データの効率処理の研究
- 土木工学におけるデータの解析およびモデル化に対する一般化混合モデルや階層ベイズ法の適用
- 識別不能モデルの存在の認識と適切なモデル選択理論の使用

また、本研究を通して、土木工学で一般的もしくは慣用的に用いられているデータ解析やモデル化の理論的な問題点および誤用についても知ることができ、それも本短期共同研究の大きな成果である。