

全般検査データの有効活用と維持管理委員会

EFFECTIVE USE OF GENERAL INSPECTION DATA AND MAINTENANCE COMMITTEE

榎谷 祐輝¹・根本 早季²・田中 大介³

Yuki ENOKIDANI¹, Saki NEMOTO², Daisuke TANAKA³

Tokyo Metro Co., Ltd. operates 9 lines, 195.1km of total length (including total tunnel length, 166.8km), in Tokyo. 7.42 million passengers use our lines every day in last year. It is the traffic artery in the capital city of Japan.

In order to realize efficient maintenance and management of the subway tunnel, we have introduced ICT to inspection and repair plan so far. In maintaining and managing tunnels, we have various problems, and in order to maintain stable operations in the future, we have taken several actions based on the idea that effective utilization of accumulated inspection data is indispensable.

First, statistical analysis was performed based on accumulated inspection data to quantify the soundness of tunnels. Next, based on the information obtained by these efforts, a maintenance management committee to discuss the maintenance management policy for each route was established. This report introduces the action.

Key Words : General Inspection, Repair plan, ICT, Maintenance, Statistical analysis

1. はじめに

東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロと呼ぶ）は、9路線、総営業延長 195.1 km（うち、トンネル延長 166.8 km）の施設を保有し、1日 742 万人のお客様にご利用いただき、日本の首都東京の都市機能を支える重要な社会資本となっている。

地下鉄トンネルの維持管理においては、様々な課題を抱えており、将来的に安定した運用を維持するため、蓄積した検査データの有効活用が必要不可欠であると考え取り組みを行ってきた。

まず、蓄積した検査データを基に統計分析を行い、トンネルの健全度の定量化を図った。次に、これら取り組みによって得られた情報を基に路線毎の維持管理方針に関して議論を行う維持管理委員会を発足し、維持管理計画を策定した。

本稿では、その取り組みについて紹介する。

2. 地下鉄トンネルの維持管理

東京メトロの維持管理は、図-1に示すように、日常保守である「検査」「補修計画」「補修」のサイクルを回すことを基本としながら、必要により、トンネル全体をまとめて修繕する「大規模修繕」を行っている。

日々の維持管理に使用できる時間は、終電から始発までの限られた時間のうち、準備・片づけを除くと90分程度しかない。また、「設備の老朽化」「人口減少、生産年齢人口減少」など今後の経営環境を鑑みると将来的には維持管理業務が厳しい方向へ進んでいくことが予想される。そのような厳しくなる環境の中で、メンテナンス費用の制限・技術者の確保が難しくなっていくことが考えられる。このようなことから、メリハリの効いた、効率的で説明性の高い維持管理を実現するために、4つのポイントに注力し（図-2）、各種システム開発¹⁾、統計分析の導入及び維持管理委員会の発足などを行った。

キーワード：全般検査，補修計画，ICT，維持管理，統計分析

¹非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department, Railway Headquarters, Tokyo Metro Co., Ltd.,
(E-mail: y.enokidani@tokyometro.jp)

²非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department, Railway Headquarters, Tokyo Metro Co., Ltd.,

³非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department, Railway Headquarters, Tokyo Metro Co., Ltd.,

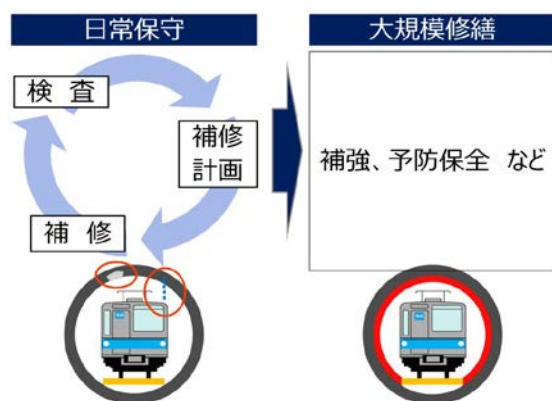


図-1 維持管理サイクル

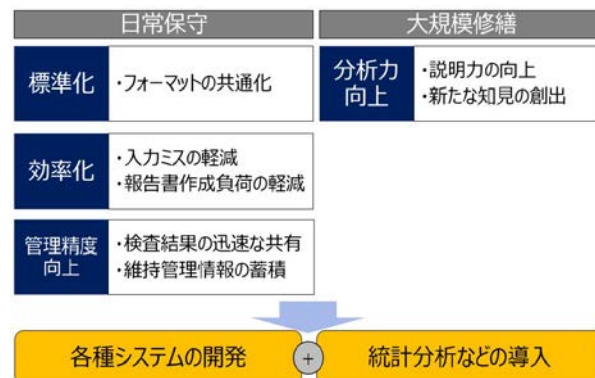


図-2 改善のポイント

3. 地下鉄トンネルの維持管理への統計分析の導入²⁾

(1) 目的

東京メトロは、166.8kmのトンネルについて全般検査を実施している。2年毎の通常全般検査と20年毎の特別全般検査を実施し、健全度の評価をしている。全般検査は判定基準があるものの、検査年度毎の判定レベルの違いや、検査状況の違い、路線の違い等により結果にバラツキが存在する。これらは検査項目特有の性質に由来するものであり、検査結果は本来的なトンネルのリスクを表しているとはいえない。つまり経年による状態変化や路線の比較を行うには、この検査項目特有の性質を考慮し、同じ土俵で比較できるようにする必要がある。全般検査のデータは、2章で述べたシステム¹⁾によりクラウドサーバに日々蓄積されている。そこで膨大な検査データを統計処理してリスク評価モデルを構築し、維持管理計画に役立てるためのリスク指標（特性値 θ ）を産業能率大学と共同で開発した。

(2) 分析方法

分析にはある路線、年度の通常全般検査のデータを用いた。今回、15項目（ひび割れ[左側壁、上床、右側壁]、漏水[左、上、右]、浮き・はく離[左、上、右]、鋼材劣化[左、上、右]、コールドジョイント、初期変状、その他）の変状に着目した。これらのAA, A1, A2, B, C, Sの6段階評価のデータを、要補修:1, 補修不要:0で再整理し数量化した。次に、トンネルを路線方向に5m毎に区切って、各区间で変状毎に点数を合計した。階評価のデータを、要補修:1, 補修不要:0で再整理し数量化した。

次に、トンネルを路線方向に5m毎に区切って、各区间で変状毎に点数を合計した。その後、この点数が1点以上の場合を1, 0点の場合を0とした2値化の再カテゴリー化を行った。

次に、各変状の観測確率 P_j と特性値 θ_i の関係を2母数ロジスティックモデル（式1）で表現した。ここで j は変数の数を、 i はオブザベーション数である。

$$p_j(\theta_i) = \frac{1}{1 + \exp[-a_j(\theta_i - b_j)]} \quad (1)$$

ここでパラメータ a_j は関数の右上がりの上昇具合を表し、変状観測の閾値の明確さを表している。パラメータ b_j は関数を左右に移動させるもので、変状の観測されやすさを表している。維持管理のための特性値 θ は構造物の劣化を表すと考えられるので、ガンマ分布を仮定した。

特性値 θ を算出するためマルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC）でパラメータの推定を行った。この際、 a_j には対数正規分布を、 b_j にはガンマ分布を事前分布に設定した。これにより、検査項目特有の性質を a_j や b_j の影響として除外した上で特性値 θ を算出できるため、同じ基準で評価ができると考えられる。

(3) 得られた結果

算出した特性値 θ の値を、キロ程ごとにプロットしたものを図-3に示す。図-4にその特性値 θ の要約統計量とヒストグラムを示す。結果として、維持管理指標 θ の特性が適切に示され、現行の検査における各変状の困難度および識別力が判明した。

4. 維持管理委員会の発足³⁾

(1) 維持管理委員会の目的

長期保守を目的とした大規模修繕の業務フローは、どの区間を行うべきかを計画した後に、調査・設計を行い、工事を行うという流れで実施している。調査・設計につ

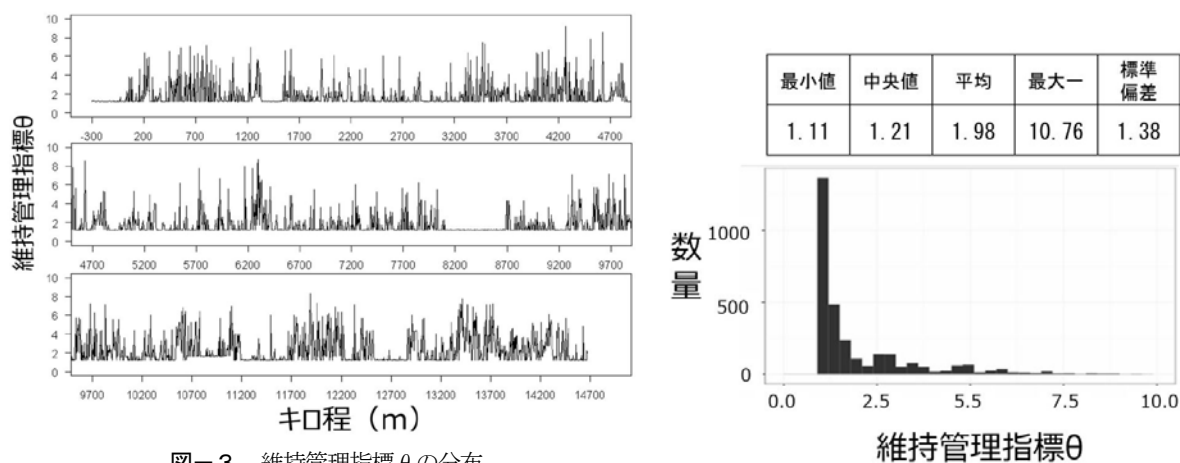


図-3 維持管理指標 θ の分布

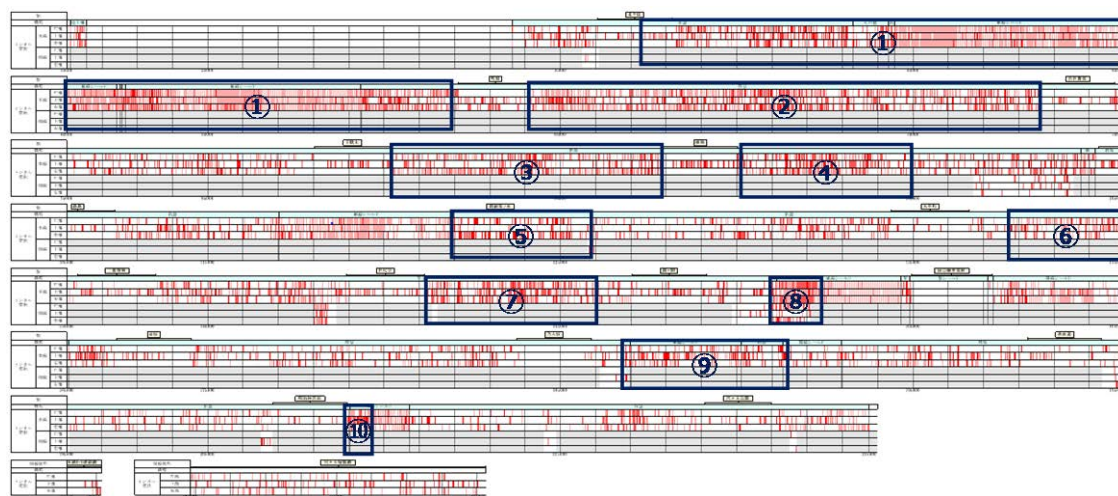


図-5 可視化ツール：変状発生分布傾向

いては、工学的根拠に基づき緻密に行っているが、一方で計画については検査結果を主としているものの、社員の経験や知識に頼ることが多く、対外的な説明性という観点で改善の余地があった。

維持管理へのICTや統計分析の導入により得られた各種データや可視化ツールを活用した、より説明性の高い維持管理計画の立案を目的として、2016年度から路線毎の維持管理の方針を議論する場として、社内メンバーで構成される維持管理委員会を発足した。この委員会は、同じ場で議論を行うことにより、本社・現場監理事務所・グループ会社（検査業務の現場担当）の立場の異なるメンバーが、

- ① 検査業務上の知識・問題点等について共通認識を図る
- ② ベテラン技術者と若手技術者の意見交換・技術伝承の場として活用することも目的としている。

(2)維持管理委員会の流れ

維持管理委員会は以下の項目に分けて進める。

- ① 各種検査等の情報報告及び着目区間の抽出

- ② 着目区間に関する過去情報、現情報の確認及び原因の推定・将来予測
 - ③ 区間設定：緊急、警戒、注意、—（バー：日常保守で問題ない）
 - ④ 区間毎の調査・修繕計画策定
- a) 着目区間の抽出
- 着目区間は以下に示す8項目から抽出している。
- ① 検査員に感覚：現場検査で感じた注意すべき区間（変状の発生具合、補修の進捗など）
 - ② 変状の発生分布傾向：可視化ツールの機能であるトンネル展開図に検査で記録された変状を健全度ランク毎に色分けでプロットされた1路線の変状の発生分布図を可視化した図を用いて変状が集中している区間（図-5）
 - ③ 変状の増加傾向：②の展開図の派生で前回検査と比較して変状の増加傾向可視化した図を用いて増加している又は新たに発生している区間
 - ④ 維持管理指標 θ ： θ の値が高い区間又は前回検査時より高くなっている区間

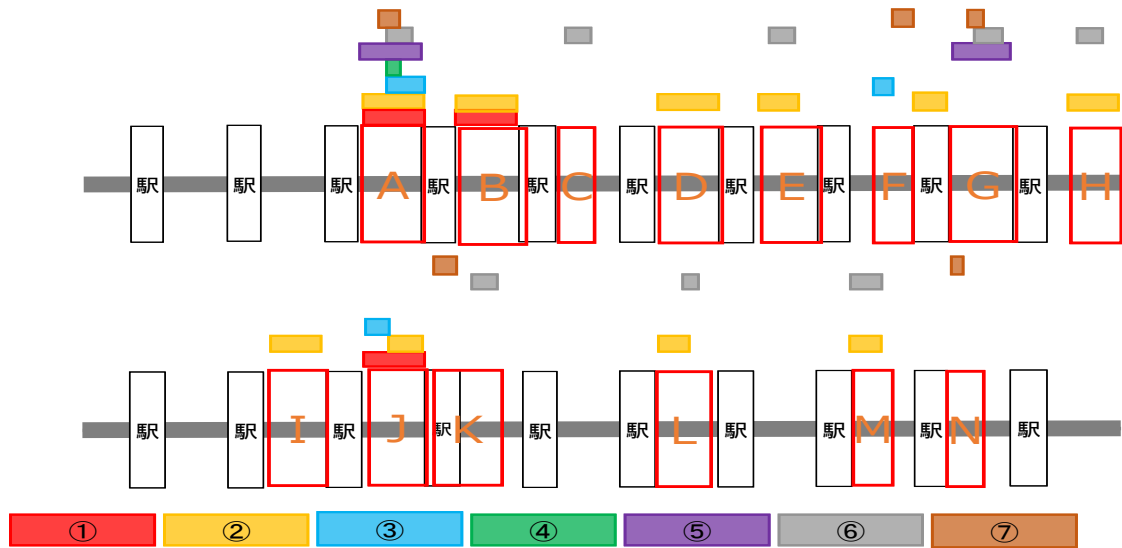


図-6 抽出区間の一覧

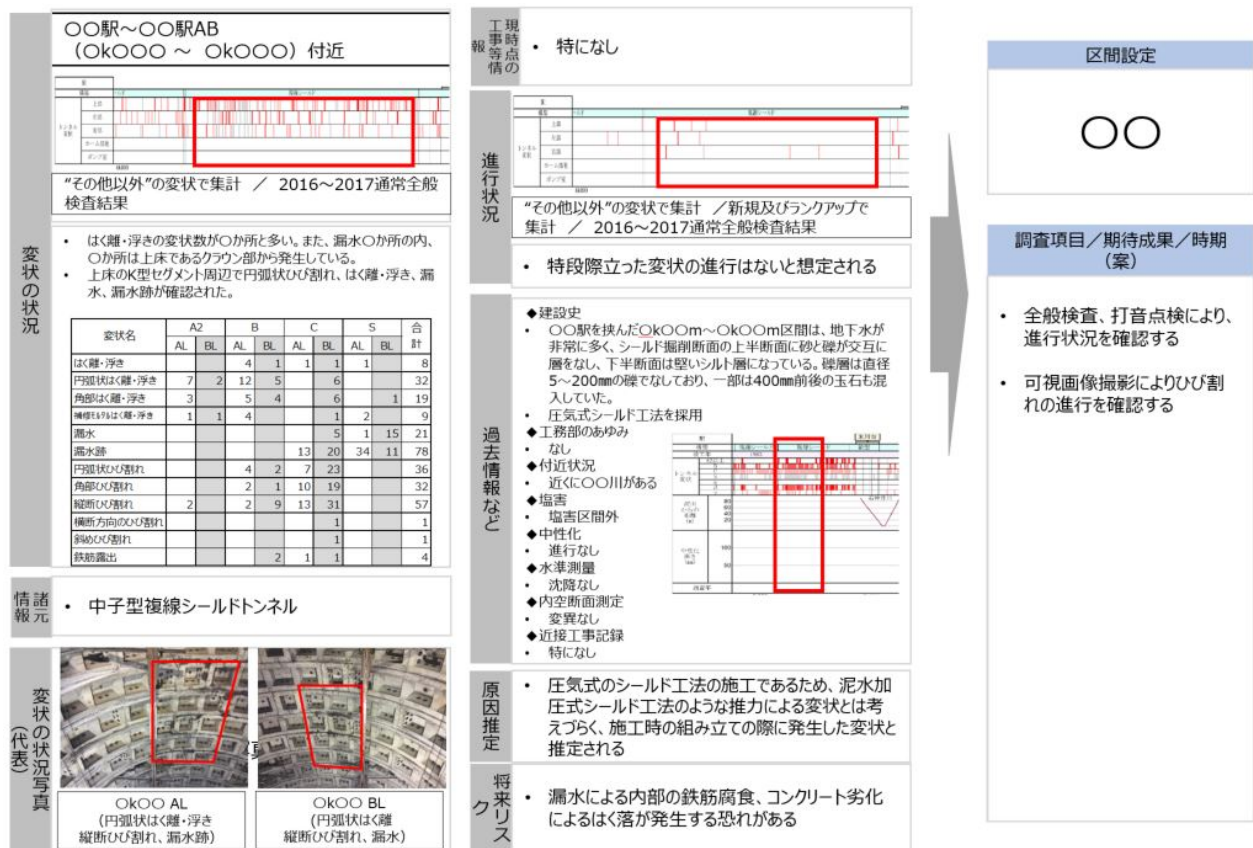


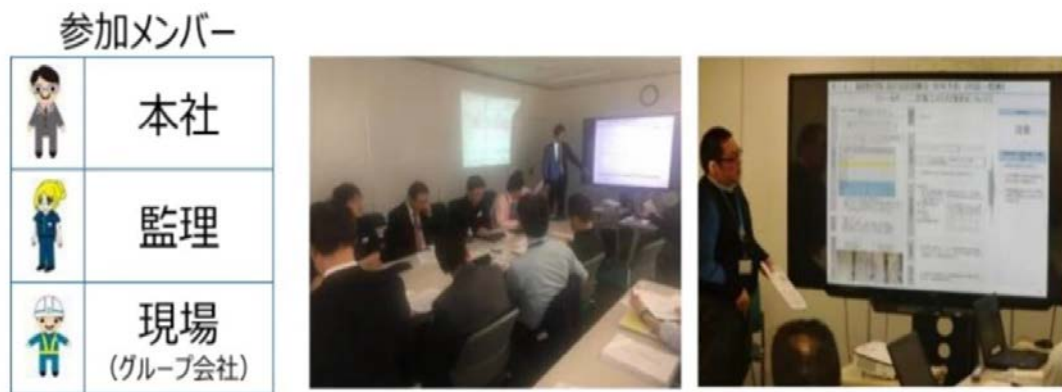
図-7 区間毎のカレンダー

- ⑤ 可視画像：トンネル内面の画像・変状展開図から特徴的に変状が発生している区間
- ⑥ 軌道変異：軌道の状態が土木構造物の変状が起因で不良を起こしている区間
- ⑦ お客様からのご意見・ご要望：お客様から頂戴したご意見・ご要望のうち土木構造物に起因する案件のある区間

b) 原因の推定及び将来予測

原因の推定及び将来予測については以下に示す8項目で実施している。

- ① 路線の諸元、建設時の情報、修繕履歴
- ② 水準測量及び内空断面測量の結果
- ③ 近接工事の情報
- ④ 塩害の影響



図－８ 維持管理委員会



図－９ システム化（日常保守）

- ⑤ 中性化の進行状況
- ⑥ 地質・地下水の情報
- ⑦ 変状種別及び発生分布
- ⑧ その他土木構造物の維持管理に必要な情報

c) 区間設定

次に抽出した区間（図－６）の発生原因，将来予測等から修繕の優先順位付けを以下の４段階で行っている。

- ① 緊急：即対応を要する区間
- ② 警戒：数年以内に対応を要すると考えられる区間
- ③ 注意：警戒ほどではないが対応を要する区間
- ④ ー（バー）：日常保守で問題ない区間

d) 区間毎の修繕計画間策定

区間毎に修繕時期や修繕内容選定している。

e) 区間毎のカルテ作成

抽出した区間毎に，a)からd)までの情報をA４サイズ1

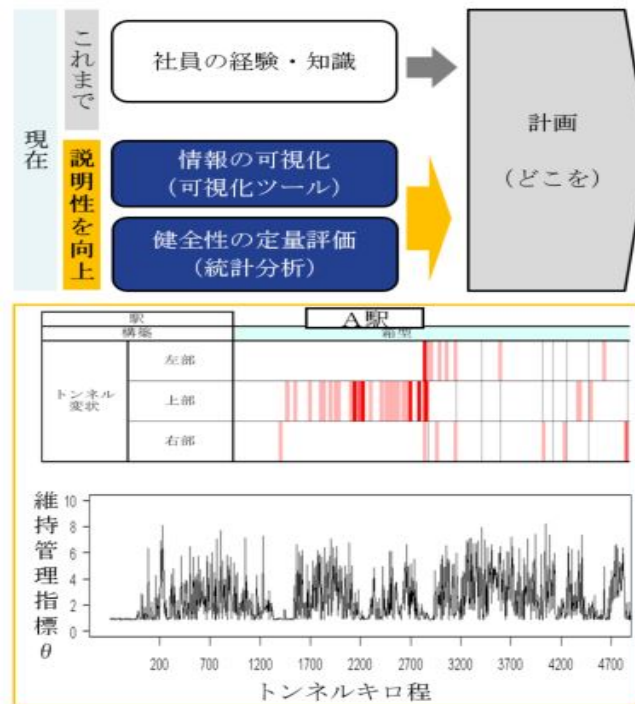
に収めたカルテを作成している。（図－７）

(3)維持管理委員会の開催

維持管理委員会で作成したカルテを基に抽出した区間に対して議論し，区間設定および修繕計画について決定する。

この維持管理委員会を発足したことで，これまでよりも説明性の高い維持管理計画の策定が可能となったとともに，若手技術者の育成にも寄与できたと考えている。

（図－８）



図－１０ 可視化ツール・統計分析（大規模修繕）

5. まとめ

東京メトロが実施してきた、システム・統計分析の導入および維持管理委員会の発足により、日常保守においては、①標準化（フォーマットの共通化）②効率化（入力ミスの軽減、報告書作成負荷の低減）③管理精度向上

（検査結果の迅速な共有、維持管理情報の蓄積）を、大規模修繕においては、分析力向上（説明性の向上、新たな知見の創出）を実現できた。（図－９、図－１０）

今後もＩＣＴや統計分析を上手く活用し、「安心＝安全＋サービス」をキーワードに、これからも東京メトロを安心してご利用いただくために安全で効率的な維持管理に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 榎谷祐輝，三浦孝智，今泉直也，豊田貞光：ＩＣＴ技術を活用した地下鉄トンネル全般検査とその結果，地下空間シンポジウム，P11-15,2015
- 2) 川上幸一，小西真治，三浦孝智，篠崎真澄，福中公輔：地下鉄トンネルの全般検査データによる維持管理指標の研究，トンネル工学発表会，報告Ⅳ-1，2015.
- 3) 宮本光基，今泉直也，榎谷祐輝，笹原道治，小川大貴：地下鉄トンネルにおける維持管理の効率化への取り組み，土木学会第 73 回年次学術講演会，Ⅵ-232，2018