



京機短信

KEIKI short letter

No.404 2025.5.7

京機会(京都大学機械系同窓会)

tel. & fax. 075-383-3713

E-Mail: jimukyoku@keikikai.jp

URL: <http://www.keikikai.jp>

編集責任者 京機短信編集委員会

目次

- ・ 拡大運営委員会の報告……鈴木基史 (p.2)
- ・ 2025年度関東支部総会・講演会・懇親会報告……村上弘記、古賀 響 (pp.3-4)
- ・ series 研究最前線 (24) ネットワークシステムの制御ノード設計……坂野幾海 (pp.5-10)

関東支部で2025年度総会が開催されました。下はその集合写真です。
詳しくは記事をご覧ください。



拡大運営委員会の報告

運営委員長 鈴木基史（S61/1986卒）

令和7年3月30日（土） 14:00-17:00 に京都駅に隣接するキャンパスプラザ京都 2F 第1会議室において、京機会拡大運営委員会が開催されました。運営委員会は京機会の「I 人事・組織に関する内規」により、「幹事会にかけける重要案件の事前審議を行う。」とされており、「委員は、各支部代表と大学側代表および会長が指名する若干名とし、委員長は会長が委員中より指名する。」とされています。今回の主な議題は、①会員情報管理システム、②令和8年度総会、③学生と先輩との交流会、でした。

会員の情報管理については、個人情報保護や情報セキュリティを維持しながら、いかに会員相互の交流の促進に資するか白熱した議論が交わされました。明確な答えを見つけることは難しく、引き続き努力を続けていくことになりました。

今年11月に開催される令和8年度の総会については、例年とは少し異なる趣向を凝らして開催することを検討しています。まだ詳細を明らかにすることはできませんが、会員の皆様は楽しみにしてください。

学生と先輩との交流会については、学生の就職活動の時期や様態の変化に応じて学生会が主体となって開催時期を検討してきましたが、今年は試行的に夏休み前の6月28日（土）に開催することになりました。**5月8日から募集を開始しますので、皆様方の会社からも奮ってご応募下さい。**詳細は事務局までお問い合わせ下さい。

出席者：仲田摩智（京機会会長）、鈴木基史（運営委員長）、久保田修司（関西支部長）、村上弘記（関東支部長）、近藤功一（中部支部長）、豊嶋範男（中国四国支部長）、中村久志（九州支部長）、平方寛之（代表幹事）、土屋智由（代表副幹事）、小森雅晴（会計担当）、正井健太郎（運営委員）、森 雅彦（運営委員）、松久 寛（顧問）、千々木亨（顧問）、野口 峻（オブザーバー：学生会代表、M2）、泉井一浩（オブザーバー：名簿担当）、岩井 裕（オブザーバー：名簿担当）、山口美賀（事務局）段 智子（事務局）

2025 年度関東支部総会・講演会・懇親会報告

関東支部長 村上弘記（S60/1985卒）

関東支部 24年度 事務局長 古賀 響（H7/1995卒）

2025 年 4 月 12 日（土）に関東支部総会を開催いたしました。会場は、東京駅前の日本工業倶楽部です。歴史を感じさせる重厚な外観と、ディテールまでこだわった華やかな内装の中で、40 名の支部メンバーが集まり和気あいあいとした雰囲気で開催いたしました。



総会の様子

総会は、村上支部長（S60/1985 卒）、仲田京機会会長（S54/1979 卒）の挨拶の後、24 年度の活動報告、会計報告、会計監査の報告を行い、25 年度の新役員案、予算計画、活動計画を提案し、出席者により承認いただきました。

<25 年度関東支部役員>

支部長	村上弘記（S60/1985 卒）、
副支部長	能勢幸嗣（H3/1991 卒）、平山朋子、児玉祐一（H8/1996 卒）
監事	山下真司（S63/1988 卒）
顧問	熊澤正博（S43/1968 卒）、正井健太郎（S57/1982 卒）
事務局長	尾形秀樹（H6/1994 卒）
事務局次長	福井隆之（H13/2001 卒）

続いて土屋智由教授（マイクロエンジニアリング専攻、H3/1991 卒）より、大学の近況を紹介いただきました。

講演会では、三菱電機株式会社 常務執行役 CTO（技術戦略担当）兼 防衛・宇宙システム事業本部長 佐藤智典様（S60/1985 卒）より「宇宙システム開発への三菱電機の挑戦」と題した講演をいただきました。同社の宇宙事業の歴史を紐解きながら、チャレンジングな技術開発に関して動画なども交えながらわかりやすく紹介いただきました。宇宙開発の将来や海外との比較などに対する活発な質疑もあり、出席された方には大好評でした。またKART（学生フォーミュラ）の報告でも鋭い質疑と活動に対する激励がございました。



講演会（佐藤様）

写真撮影の後、懇親会も同じ日本工業倶楽部で行いました。村上支部長の乾杯で開会し、仲田京機会会長にもご挨拶いただきました。40名の出席者は、ビール・日本酒などを片手に立食でおいしい料理と歓談を楽しみ、締めめの挨拶は村上支部長が行いました。最後は恒例の「琵琶湖周航の歌」を合唱し、更なる京機会の発展を確かめ合いました。



琵琶湖周航の歌 合唱

関東支部では、この総会をはじめとして 25 年度もゴルフ・写真同好会や異業種交流会など OB・OG の親交を深める楽しい取り組みを続けていきます。是非お気軽に御参加をお願いいたします。

series 研究最前線 (25)

ネットワークシステムの制御ノード設計

坂野幾海 (H31/2019 卒)



「システムの計測データの情報から我々は何ができるのか？」

1. はじめに

私は、動的システム理論を専門としており、特に「データ駆動型解析」と呼ばれる分野の理論開発に従事しています。現実にあるなんらかの対象を数理的に解析したい場合、しばしばシステムの入出力のデータセットから数理モデルを構築することが行われます。これに対し「データ駆動型解析」の考え方では、数理モデルの構築を経由せず、データセットから直接システムの解析を行います。このアプローチの特筆すべき点として、数理モデルの構築ができないほどデータ量が少ない場合であっても、システムに対し何らかの解析結果が得られる可能性があることが挙げられます[1]。

例として、大規模ネットワークを持つ系を計測データから解析する問題を考えてみましょう (Fig.1参照)。具体的な例としては、電力システムや交通システム、ドローン群の協調制御を行いたい場合などが挙げられます。また、筆者はJSTムーンショット型研究開発事業の一環で「複雑臓器制御系の数理的包括理解と超早期精密医療への挑戦」というプロジェクトに参加していますが、疾病の発病は数理的な観点においては（生体細胞内に存在する）遺伝子制御ネットワークの機能

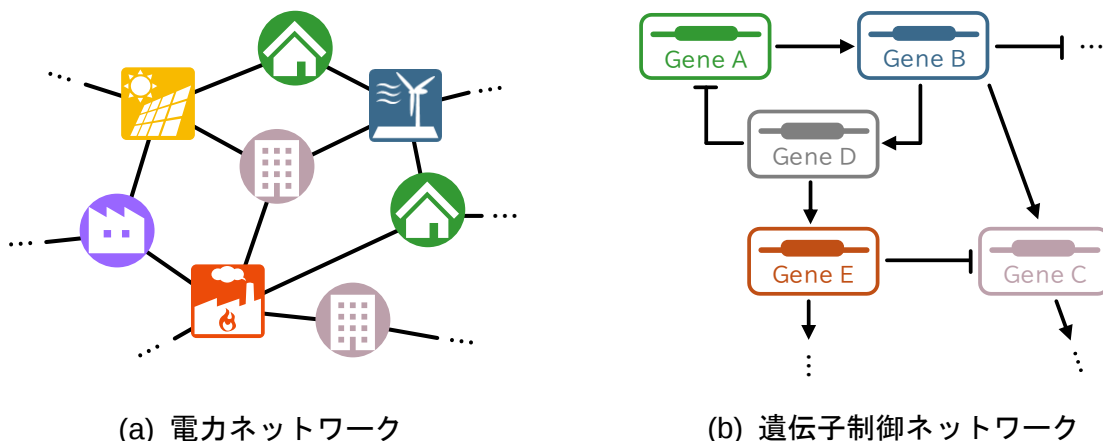


Fig.1 大規模ネットワーク系の例

不全と解釈することができます[2, 3]。このように、ネットワーク系の解析問題は社会的にも重要な意味を持ちます。しかしながら、このような系では、測定コストやプライバシーに関する制約、あるいは測定技術そのものが十分に確立されていないなどの様々な要因により、ネットワーク全体の完全な情報を含むデータセットが得られないという問題にしばしば直面します。そこで、大規模ネットワーク系を少量のデータから解析する手法の開発が急務となっています。

このような背景から筆者はネットワーク系の解析・制御に注目し、システムの状態観測データセットから、直接システムを解析するための理論構築を行ってきました。特に近年では、「システム解析が可能となるために、データセットが本質的に満たすべき条件とは？」という問題を解き明かすことに挑戦しています。本稿では、筆者がこれまで行ってきた研究[4, 5, 6]について紹介します。

2. ネットワーク系を制御するうえで、介入すべきノードはどこか？

大規模なネットワーク系を制御する際の課題の一つに、数多くあるノードのうちどのノードに介入すべきか？という問題があります[7]。実用上の観点からは制御のために介入するノードの数は少ない方が望ましいですが、考えなしにノードを選択してしまうと、そもそも所望の制御を実現できない、あるいは実現できたとしてもそのために必要なエネルギー量が過大になってしまうなどの問題が発生する可能性があります。そこで、最も制御に適した制御ノード、すなわち「系全体（あるいはその部分ネットワーク）を制御する際に必要なエネルギーが最小となる制御ノード」を同定することが重要となります。そこで、以下ではつぎのような問題について考えてみましょう。

問題 : Fig. 2 のようなネットワーク構造を持つシステムが与えられるものとする。ただし、システムの数理モデルは利用できず、代わりにシステムの動的なふるまいの時系列を計測したデータセットが利用可能であるとする。このとき、図中■印のノード群を最も効率よく制御するためには、どの番号のノードに介入すべきだろうか？ ただし、介入できるノードは 34, 35, 38 の 3 種類のうちいずれか 1 つだけである。

以降では、上記の問題において■印のノード群のことを「注目ノード群」、システムを制御するために介入するノードのことを「制御ノード」と呼ぶことにします。

著者らの研究[4]では、上記の問題を解くための具体的な方法を与えています。

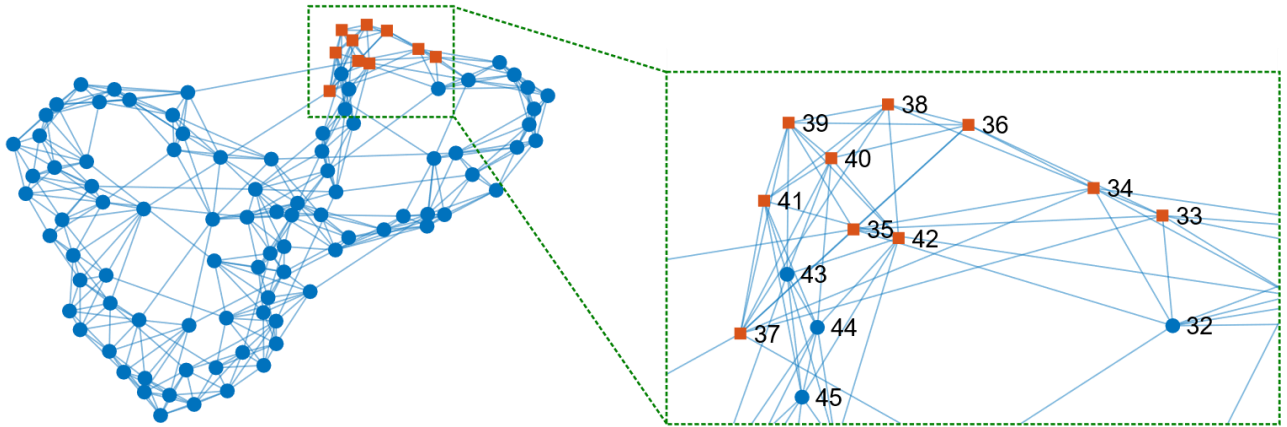


Fig. 2 ネットワークシステムの例

この方法は、問題の解が「データ駆動型リアプノフ方程式」と呼ばれる方程式の解によって特徴づけられることに注目して構成されています。ここで、「データ駆動型リアプノフ方程式」は、次に示すように、データセットを用いて構成される方程式です。

$$x^\top(t_{i2})Px(t_{i2}) - x^\top(t_{i1})Px(t_{i1}) = - \int_{t_{i1}}^{t_{i2}} x^\top(t)Qx(t)dt \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

ここで、 $x(t)$ は（データセットに含まれる）システムの状態の時系列信号、 Q は出力ノード群のインデックスに対応する行列、 N はデータ数であり、 P は方程式の未知数（行列）を表します。

式(1)の方程式を用いれば、介入すべきノードは次のような手順で同定することができます。

- ① 計測データから式(1)のデータ駆動型リアプノフ方程式を構成する。
- ② 式(1)が一意解 P を持つ場合、介入すべきノードは $k^* := \operatorname{argmax}_{k \in D} p_{kk}$ である。ただし、 p_{ij} は行列 P の (i, j) 要素であり、集合 $D \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$ は制御ノードの候補のインデックス集合（つまり、 $D = \{34, 35, 38\}$ ）である。
- ③ 式(1)が一意解を持たない場合はデータ不足であり、(少なくともこの方法では) 最適な制御ノードを同定することはできない。

上記の方法を用いて問題の解が得られることを、数値シミュレーションを通して確認してみましょう。ただし、Fig.2のシステムの最適な制御ノードは38番です。このことは、ノード i を制御ノードにした場合の評価関数 J_i （システムの制御しや

すさの指標)を具体的に計算することで確かめることができます(実際、 $J_{34} = 6.38$ 、 $J_{35} = 9.64$ 、 $J_{38} = 19.51$ となっている)。

Fig.2のシステムに対し、計算機で人工データを生成し、そのデータに対して式(1)のデータ駆動型リアプノフ方程式を構成することを考えます。この方程式を代数的に解くことで、Fig.3に示す一意解 P が得られます。したがって、最適な制御ノードの番号は、この行列 P と集合 $D = \{34, 35, 38\}$ に対して、 $k^* = \operatorname{argmax}_{k \in D} p_{kk} = 38$ のように計算できます。このようにして、提案法を用いれば、データセットから最適な制御ノードを同定することができます。

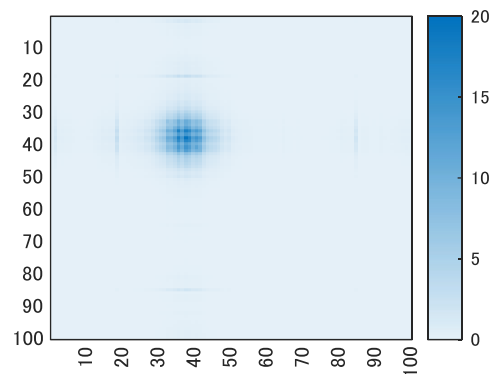


Fig. 3 行列 P の値。図中では各要素の絶対値を表示している。

3. システム解析に本質的に必要なデータとは？

2節で述べた方法では、実はシステムの数理モデルを同定できるほどの情報量をデータが持っている必要がありました。ところが、上述の問題を解くためには実は必ずしもデータがそのような条件を満たしている必要はありません。この事実は、つぎの考察から説明することができます。

2節の問題をもう一度考えてみましょう。この問題を解くための最も直感的な方法は、つぎのようなものです：制御ノードの候補である34, 35, 38番ノードを、実際に制御ノードとして設定し、各々の場合に対し適当な入力を加え注目ノード群の状態がどう変化するかを観測する。もし注目ノード群の状態が他の場合と比べ最も大きく変動したならば、その時設定していた制御ノードが問題の解である。

上記の制御実験は高々3回行えば十分ということになります(これはFig.2のシステムのノード数100に対して極めて少ない)。実は、大雑把に言えば、このようなデータではシステム全体の動特性を表現する数理モデルを構成することは、不可能、あるいは数値的に困難です。それにも拘らず、上記の制御実験を行うことで、問題の解が得られることを期待できます。

このことから、つぎの2つの疑問が生じます。

- ① 「特定のノードを制御ノードとした場合の制御のしやすさの指標」をデータ駆動で計算するために、「データが持つべき本質的な情報」とはなんだろうか？

② そのような「最小」の情報量しか持たないデータから「制御のしやすさの指標」を計算するためのアルゴリズムを、どのように構成すればよいか？

著者らは[5,6]において、上述のような議論を起点にして、疑問①の解が以下の2つの条件で与えられることを数学的に明らかにしました。

- ・ 制御実験において 34, 35, 38 番のノードを加振していること。
- ・ データセットがその時の注目ノード群全ての時系列情報を含んでいること。

例えば、いずれかのノードが適切に加振されていない場合、または、注目ノード群のうち一つでも観測できないものがある場合は、どのようなアルゴリズムを用いてもこの問題を解くことは不可能（つまり、本質的な意味でデータ不足）ということになります。この条件は、数学的には、制御ノードの候補集合 D に対応する行列に対し、データセットによって定まるある行列分解が可能であるか否かによって記述することができます。

また、疑問②の解となる具体的なアルゴリズムも導出しています。ここでは具体的な手続きの記述は避けますが、このアルゴリズムは、上記の行列分解形によって定義されるある線形方程式を解くことが核となっています。

4. おわりに

本稿では、大規模ネットワーク系の制御ノード設計問題に焦点を当て、データ駆動型アプローチによる研究を紹介しました。特に3節で触れた「解析・制御を行うためにデータが持つべき本質的な情報とは？」という問いは、2020年にData Informativity[2]という概念が登場して以降盛んに研究が行われています。このような枠組みは、大規模ネットワーク系をはじめとした、利用可能なデータ量に制約がある場合において特に重要な役割を果たすものと考えられます。また、仮に計測データが不足している場合であっても、ネットワーク構造（の一部）などの事前知識を併用することで解析が可能になる場合も考えられ、そのような研究も近年取り組まれ始めています[8]。私は、将来的にデータ・事前情報を統合した新たなネットワーク解析・制御理論を確立することを目指し、引き続きこの分野の研究活動に注力していきたいと考えています。

参考文献

- [1] H.J. van Waarde, J. Eising, H.L. Trentelman, and M.K. Camlibel, “Data informativity: A new perspective on data-driven analysis and control,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 65, no. 11, pp. 4753-4768, 2020.
- [2] M. Scheffer, J. Bascompte, W.A. Brock, V. Brovkin, S.R. Carpenter, V. Dakos, H. Held, E.H. van Nes, M. Rietkerk, and G. Sugihara, “Early-warning signals for critical transitions,” *Nature*, no. 461, pp. 53-59, 2009.
- [3] L. Chen, R. Liu, Z.P. Liu, M. Li, and K. Aihara, “Detecting early-warning signals for sudden deterioration of complex diseases by dynamical network biomarkers,” *Scientific Reports*, vol. 2, article no. 342, 2012.
- [4] I. Banno, S. Azuma, R. Ariizumi, T. Asai, and J. Imura, “Data-driven estimation and maximization of controllability Gramians,” *60th IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 5046-5051, 2021.
- [5] I. Banno, S. Azuma, R. Ariizumi, T. Asai, and J. Imura, “Data informativity for Lyapunov equations,” *IEEE Control Systems Letters*, vol. 7, pp. 2365-2370, 2023.
- [6] I. Banno, “Data informativity for output controllability Gramians and its duality,” submitted, 2025.
- [7] Y.Y. Liu, J.J. Slotine, and A.L. Barabasi, “Controllability of complex networks,” *Nature*, vol. 473, no. 7346, pp. 167–173, 2011.
- [8] J. Berberich, C. W. Scherer, and F. Allgöwer, “Combining prior knowledge and data for robust controller design,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 68, no. 8, pp. 4618-4633, 2023.

Profile

京都大学大学院情報学研究科情報学専攻機械システム制御研究室 助教

1996年、名古屋市に生まれる。2019年、名古屋大学工学部機械・航空工学科を卒業。2021年に同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2024年、同博士後期課程修了後、博士号取得。同年4月から京都大学大学院情報学研究科助教。

研究室HP : <http://www.ctrl.sys.i.kyoto-u.ac.jp/>