

# 井上研究室

(インターネット, コンピュータネットワーク)

本資料をご覧いただき, ありがとうございます. このスライドでは, 研究内容や活動予定を説明します. 各ページのリード文を読んで全体をざっとつかみ, 興味を持ったページは本文も読んでみてください.

質問があれば inoue.t [at] yamanashi.ac.jp まで気軽にお問い合わせください.  
電話・ビデオ会議にも応じられます.

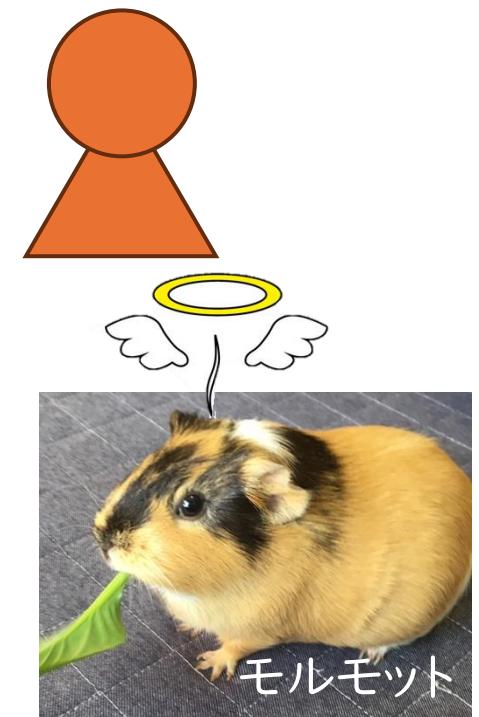
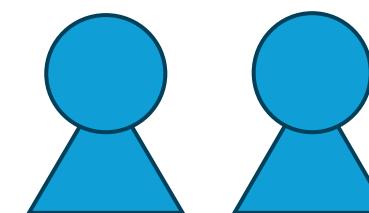
# 教員紹介

- ▶ 教員紹介
- 研究テーマ
  - AI計算基盤
  - 通信インフラの防災
  - 運用・セキュリティ
- 研究の特色
  - BDD と Graphillion
  - 共同研究
- 研究室
  - 設備・環境
  - 運営
- キャリア形成
  - 大学院への進学
  - ネットワークの仕事

# 教員紹介 (1/3)

井上 武(たける)です。2025年4月, NTT研究所から梨大に移り, 研究室を新設しました。

- 井上研究室は2025年4月から始まった新しい研究室です。私が梨大に着任したのも2025年4月なので, T23の皆さんほとんどは初めてお会いすることになります。
- 2025年3月までは, NTTの研究所に勤務していました。
- NTTと並行して早稲田大学の非常勤講師も務めていたので, 教員経験もあります



四人七一匹の家族

NTT時代には**特別研究員**(上位4%)に選ばれており、研究実績はそれなりにあると考えていただいて大丈夫です。

- NTT研究所では「特別研究員」という立場で仕事をしていました。NTTには約2500名の研究員がいますが、特別研究員は研究面での上位100名程度に相当します。
- Google Scholar や researchmap などの研究業績集計サイトを見ていただくと、発表論文や被引用数、表彰などをみれます。見てもピンとこないかもしれません、それなりの研究実績があると思っていただいて大丈夫です。

## 明日のトップランナー

NTT未来ねっと研究所

### 井上 武 特別研究員

少し未来の情報通信ネットワーク像を提示。  
大規模計算基盤のための光バス設計技術の研究

現在の情報通信ネットワークの課題として、「柔軟性の欠如」があげられます。例えば拠点間で新たに光ファイバ回線を設定しようとする場合、かなりの手間が掛かるでしょう。今回は、自由に切り替え可能な柔軟なネットワークの構成をめざして「大規模計算基盤のための光バス設計技術」の研究に取り組む井上武特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE：2000年日本電信電話株式会社入社。科学技術振興機構 ERATO渦離散構造処理系プロジェクトERATO研究員（2011年6月～2013年6月）。NTT未来ねっと研究所（2013年7月～現在）、早稲田大学 基幹理工学部 非常勤講師（2016年9月～）、NTTコミュニケーション科学基礎研究所（2020年3月～）。



<https://journal.ntt.co.jp/article/14941>



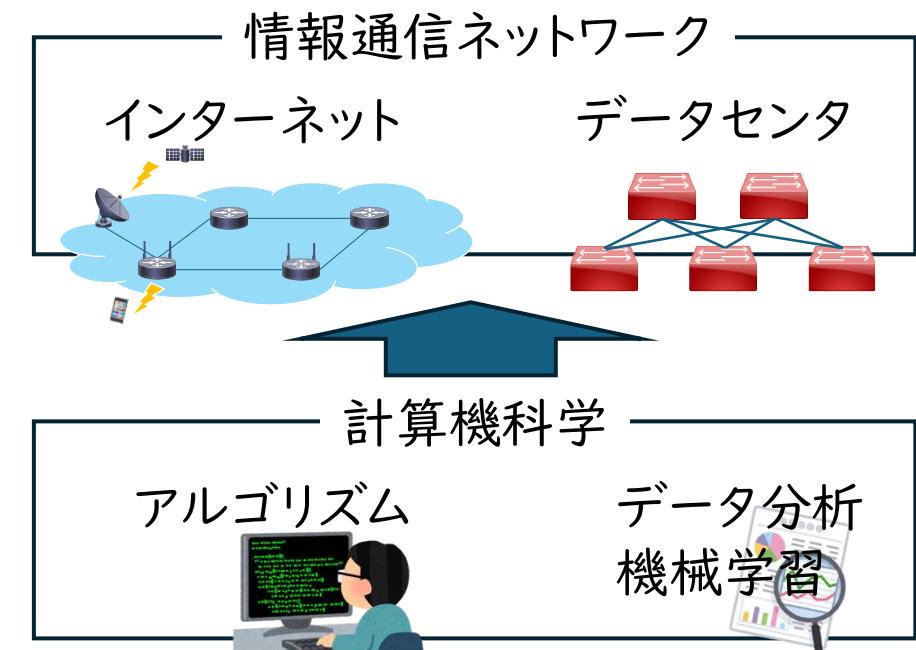
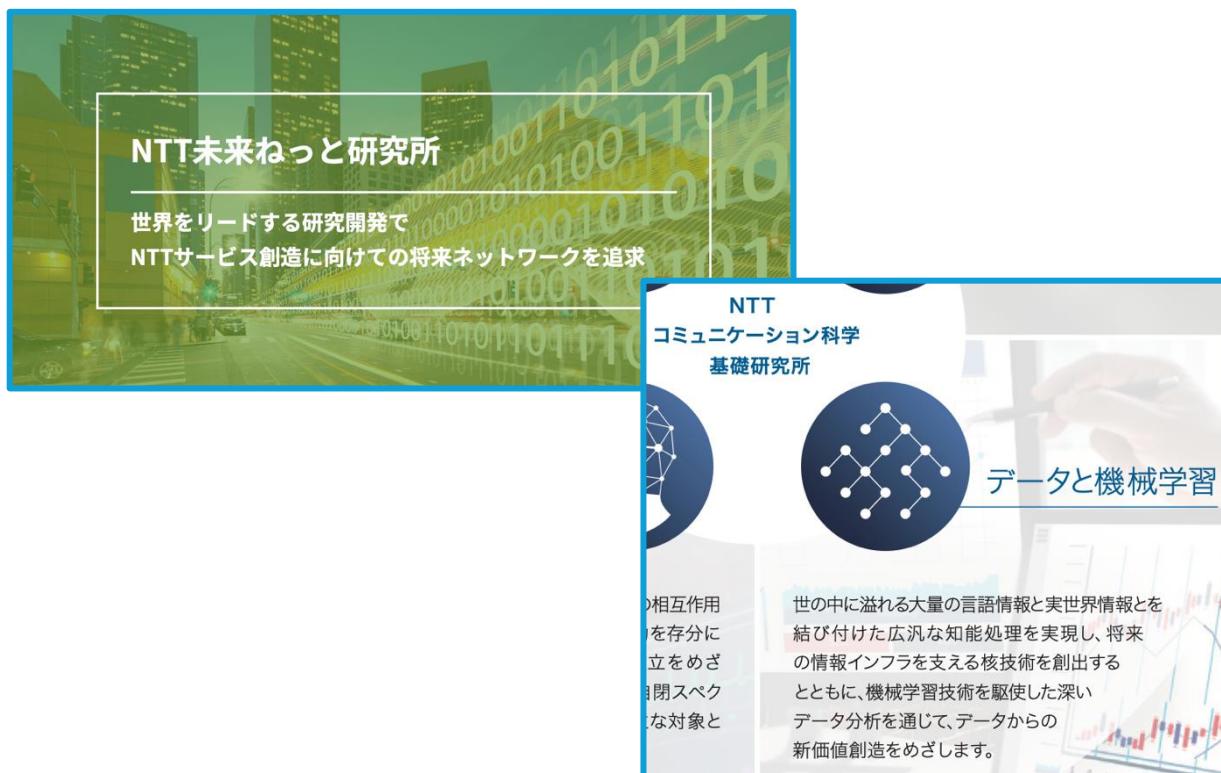
### 受賞 33

2024年10月 研究開発賞, IOWN APNにおけるオンデマンド光接続/バス設定位技術の確立と実証, NTT社長表彰  
西沢一郎、井上武、岸保、井上和也、六澤和也、井上武、日井一朗、星木雅俊、片山陽平、曾根由明  
2023年12月 Best paper award, Efficient Routing Method for Reducing Significant Outages in Optical Networks, Optical Networks and Systems Symposium, IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)  
Katsuaki Higashii, Takafumi Tanaka, Takeru Inoue  
2023年10月 Best paper award, First Field Demonstration of Automatic WDM Optical Path Provisioning over All-Optical Access Links for Data Center Exchange, European Conference on Optical Communication (ECOC'23)  
Toku Mino, Thomas Ferreira da Lima, Yue-Kai Huang, Zehao Wang, Wataru Ishida, Ezra Ip, Andrea D'Amico, Seli Ozturk, Takeshi Inoue, Hiroki Inouhata, Vittorio Cattani, Gil Zusman, Daniel Kiper, Tingting Chen, Ting Wang, Koji Asahi, Kochi Tsuneyuki  
2023年4月 研究開発賞, BDC機能を用いた低遅延ネットワーク構築技術の効率的計算に関する一連の研究, NFTコミニケーションズ技術研究開拓会  
中村誠一、井上武、西野一郎、井上和也  
2022年3月 特別賞, IGF Open APN / DOI Functional Architectureへの貢献, NTT未来ねっと研究所  
西沢一郎、高橋幸男、内川泰紀、井上武、岸保、井澤和也、北村圭  
2021年12月 研究開発賞, サブフレーム分離変更グラフを用いた組合せ圧縮計算の確立と高信頃ネットワーク設計への応用, NTT先端技術融合研究室  
西野一郎、安田直也、井上武  
2021年6月 最優秀論文賞, 開放型オプティックネットワークを用いたSFC帯スループット予測性能評価-電子情報通信学会セミナー  
工藤一郎、高橋幸男、井上武、水野英平  
2021年5月 Best Paper Award, Efficient Reliability Evaluation of Multi-Domain Networks with Secure Intra-Domain Privacy, IEICE Communications Society  
Atsuko TAKEUCHI, Takeru INOUYE, Kohri MIZUNO, Takashi KURIMOTO, Atsuko TAKEUCHI, Shigeo URUSHIHANAI  
2020年12月 Outstanding Paper Award, State-of-the-Art Deep Learning-Evolving Machine Intelligence  
Zohar Tomer's Intelligent Network Traffic Control System, IEEE Asia-Pacific Board  
Zohar Tomer, Pengfei Tang, Bonin Man, Na Li, Osamu Asai, Takeo Kaneko, Kimiko Mizutani  
2020年11月 Best Paper Award, Reliability Analysis for Design Paths, IEEE Reliability Society Japan  
Takeru Inoue  
2020年3月 研究開発賞, 光ファイバ配線切替装置群を用いた網構成技術の確立, NTT未来ねっと研究所  
井野裕

[https://researchmap.jp/takeru\\_inoue/](https://researchmap.jp/takeru_inoue/)

計算機科学の技法を活用して、情報通信ネットワークを改善するアプローチで研究開発を行っています。

- NTT研究所では、「未来ねっと研究所（未来研）」という緩い名前の研究所と、「コミュニケーション科学基礎研究所（CS研）」という堅い名前の研究所に所属していました。
- 未来研は情報通信ネットワークの研究開発を行っています。CS研は計算機科学や人間科学の基礎研究を担っています。
- このため、私の研究は、計算機科学の技法を用いて情報通信ネットワークを改善するアプローチを探っています。



# 研究テーマ

教員紹介

► 研究テーマ

AI計算基盤

通信インフラの防災

運用・セキュリティ

研究の特色

BDD と Graphillion

共同研究

研究室

設備・環境

運営

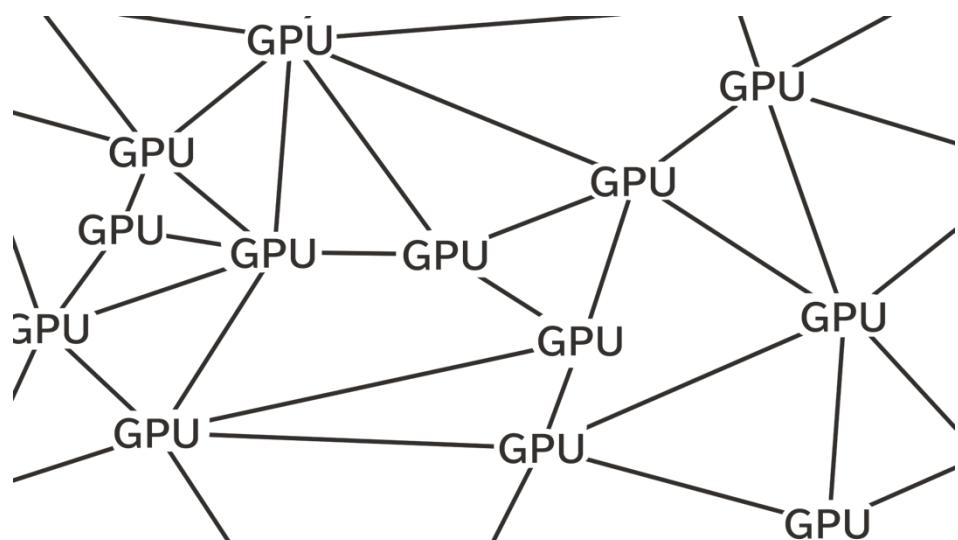
キャリア形成

大学院への進学

ネットワークの仕事

大規模AI訓練には、多数のGPUをつなぐ計算基盤(インターフェクト)が必要です。この問題を、ナンバーリンクというパズルとして考えます。

- AI関連のネットワーク研究を紹介します。ChatGPTのような大規模AIは、何万ものGPUで訓練、それらをつなぐネットワーク(インターフェクト)が必要です。GPUが増えると通信頻度が増え、インターフェクトの性能が訓練効率を左右するようになります。



- この問題を「ナンバーリンク」というパズルになぞらえて考えてみましょう。正方格子の盤面にある同じ数字同士を線でつないでください。ただし、線は水平・垂直にしか引いてはならず、交差してもいけません。
- 各数字をGPU、各マスをスイッチやリンクとみなすと、ナンバーリンクの解は、GPUが衝突を避けて通信できる状況を表します。つまり、ナンバーリンクの解が見つかれば、GPUは効率的にデータを交換できることになります。

問題

1	2	3	1
2	3		

解

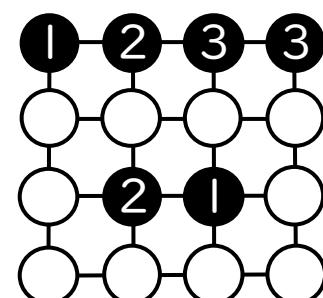
1	2	3	1
2	3		

ナンバーリンクを拡張して、AI訓練の通信状況を模擬します。卒論では、GPUが衝突せずに通信できるインターネット設計などに挑戦します。

- ナンバーリンクを拡張してみましょう。いくつかの数字を入れ替えます。それでも解は存在するでしょうか。どのように数字を入れ替えても解が存在する条件はあるでしょうか。私たちは解の存在条件を導出しました(論文)。
- 実際のネットワークはより複雑ですが、基本的な考え方と同じです。GPUは通信相手を変えながら、衝突しないようにデータ交換を繰り返します。衝突が生じると、他のGPUを待たせることになり、訓練効率が下がります。

1	2	3	3
2	1		

問題(改)



グラフ表現で扱う

- AIに関する研究は競争が激しいですが、気後れせずに挑戦してください。卒論テーマ案としては、衝突を避けるインターネット設計などが考えられます。数学的なアプローチやシミュレーション主体のアプローチで取り組みます。
- この研究では、学外との共同研究を行っています。

The capacity constraint Eq. (1):

$$x_{1,i} \leq n_{1,i} \quad \forall i \in R_1,$$

$$x_{3,j} \leq n_{3,j} \quad \forall j \in R_3,$$

$$x_{1,ik} \leq v_{1,ik} \quad \forall (i, k) \in R_1 \times M,$$

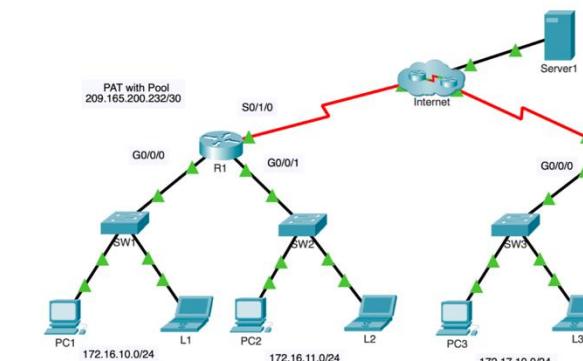
$$x_{3,jk} \leq v_{3,jk} \quad \forall (j, k) \in R_3 \times M.$$

The idle condition Eq. (2):

$$x_{1,p} \leq n_{1,p} - 1,$$

$$x_{3,q} \leq n_{3,q} - 1.$$

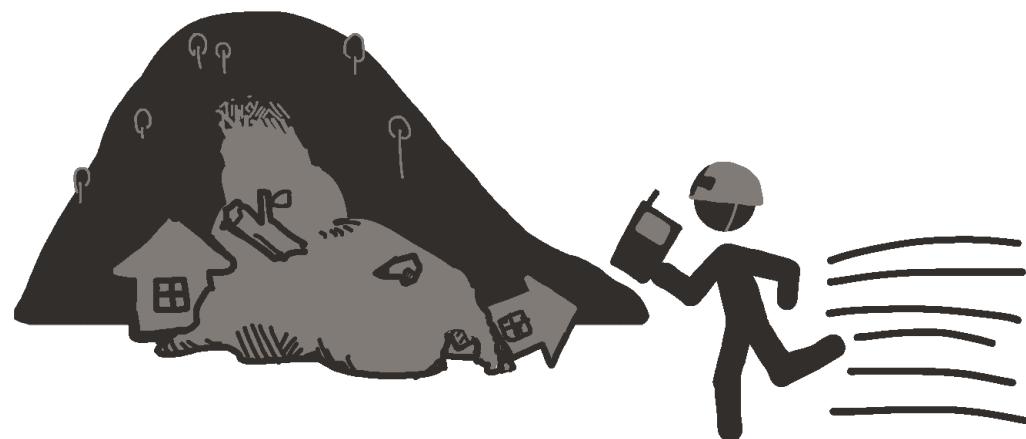
数学的アプローチ



シミュレーションは  
科目「NW実習」に近い

災害に対するインターネットの耐久性は重要ですが、その見積もりは難題でした。まず機械学習を用いて各通信設備の損傷を予測しました。

- ・ 災害下のインターネットに関する研究を紹介します。日本は地震などの自然災害が多く、温暖化による風水害の増加もあって、防災の重要性は高まっています。
- ・ 災害時には、連絡や救助のためにインターネットが重要な役割を果たしますが、ネットワークも被害を受けて不通になることがあります。ネットワークの災害耐性を正確に見積もるのは非常に難しい問題です。その理由は二つあります。
- ・ 一つは、ネットワークを構成する各設備の耐久性がわからないことです。震度だけではなく、揺れの速度や周波数、地盤の性質、管路の素材や構造など多くの要因が関与します。私たちは土木研究者と協力し、大地震時の通信設備の損傷データを用い、機械学習による損傷予測を行いました([論文](#))。

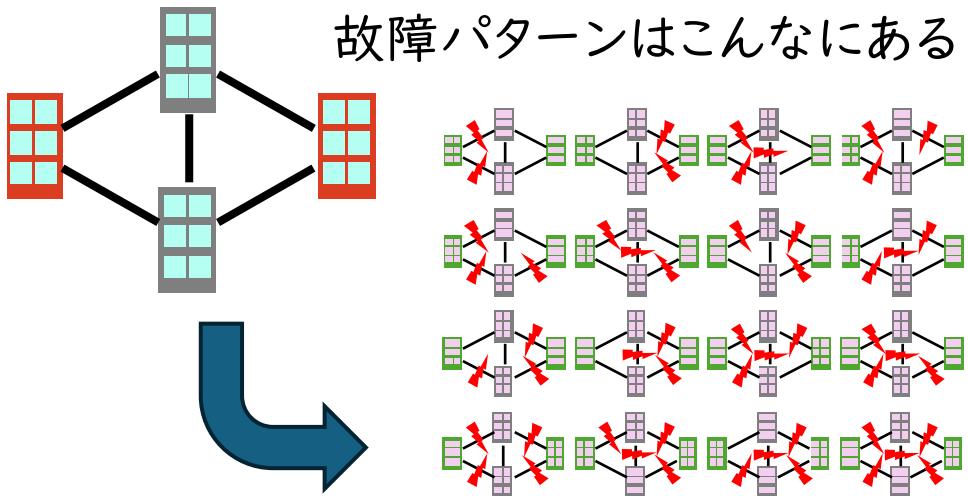


通信ケーブルを保護する地下管路の損傷



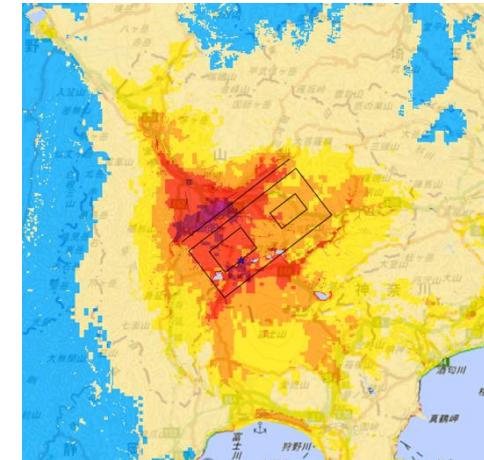
続いて、膨大な故障パターンを調べるBDDアルゴリズムを開発しました。卒論では、山梨県内ネットワークの災害耐性分析などを考えています。

- 災害耐性の見積もりが難しいもう一つの理由は、故障の組合せが膨大になることです。通信ネットワークは県ごとでも数千の設備で構成されており、起こりうる故障の組合せは天文学的な数になります。この組合せを漏れなく調べるために、私たちはBDDというデータ構造を用いたアルゴリズムを開発しました（論文）。

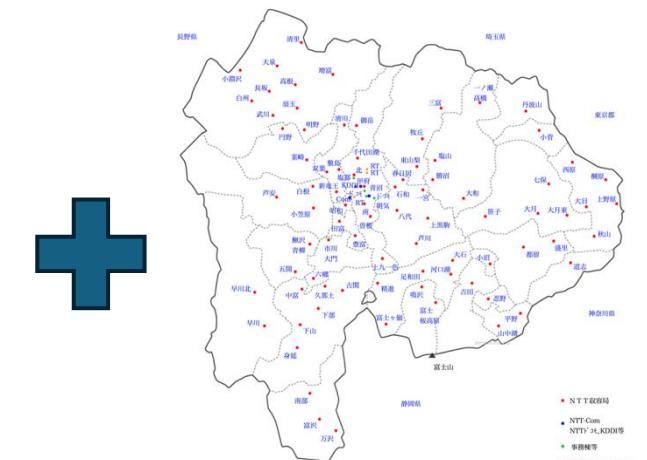


この小さなネットワークでも、  
故障パターンはこんなにある

- 卒論テーマ案として、山梨県内ネットワークの災害耐性の分析などがあります。自分でBDDのコードを書くこともできまし、私が開発した Graphillion という Python モジュールを利用することもできます。
- この研究では、学外との共同研究を行っています。



山梨県のハザードマップ



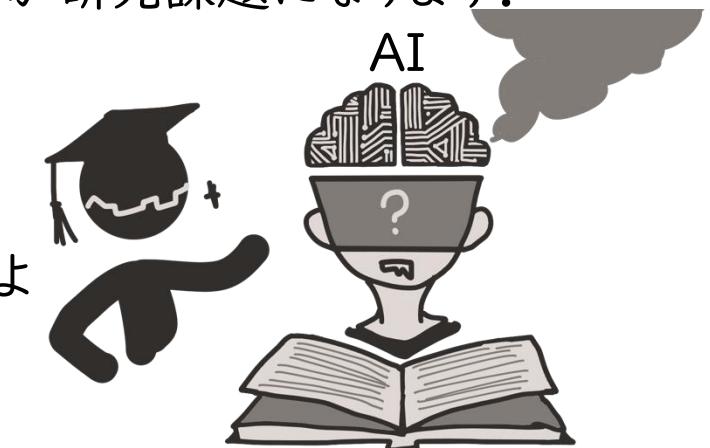
山梨県の通信拠点

ネットワークを攻撃から守るために、ルータに適切なルールを設定する必要があります。卒論では、生成AIを用いたルール生成などに挑戦します。

- セキュリティは身近なトピックで、企業や官公庁がサイバー攻撃を受けるニュースも珍しくありません。
- ネットワークを守るために、ルータ(ファイアウォール)はトラフィックを監視し、セキュリティルールと照らし合わせて不正パケットの侵入を防ぎます。しかし、大規模ネットワークでは何千ものルータに何百ものルールが設定されるため、人手での検証は困難です。
- 私たちちは、防災研究でも用いたBDDというデータ構造を用いて、大規模ネットワークのセキュリティルールを検証可能なアルゴリズムを開発しました([論文](#))。
- 私がセキュリティ研究をしていたのは10年前なので、この研究は「再立上げ」になります。当時は存在しなかった生成AIを用いて、セキュリティルールを迅速に生成するという卒論テーマを考えています。AIは間違えるので、そのチェック方法などが研究課題になります。



間違ってるよ



# 研究の特色

- 教員紹介
- 研究テーマ
  - AI計算基盤
  - 通信インフラの防災
  - 運用・セキュリティ
- ▶ 研究の特色
  - BDD と Graphillion
  - 共同研究
  - 研究室
    - 設備・環境
    - 運営
  - キャリア形成
  - 大学院への進学
  - ネットワークの仕事

井上研では, BDD\*/Graphillionなどのグラフ・アルゴリズムを使った  
り, シミュレータを用いてネットワークを分析します.

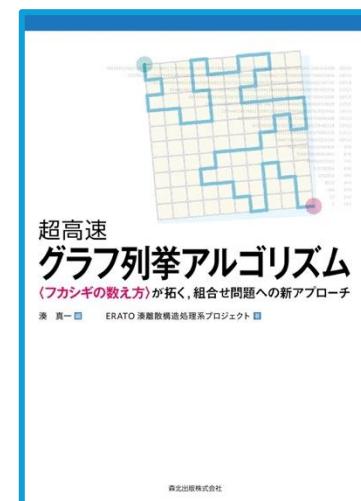
- ここまで何度か「BDD」というデータ構造が登場しました. BDDは巨大なデータを小さく圧縮し, しかも圧縮したまま操作できます.
- BDDをグラフに応用したのが, 私が開発した Graphillion です. ネットワークはグラフとして表現されることが多く, 故障など様々な状態を考えなければならぬので(=巨大なデータになるので), 「グラフ + BDD」である Graphillion はネットワーク研究と相性が良いです.

Google Colab で体験できます



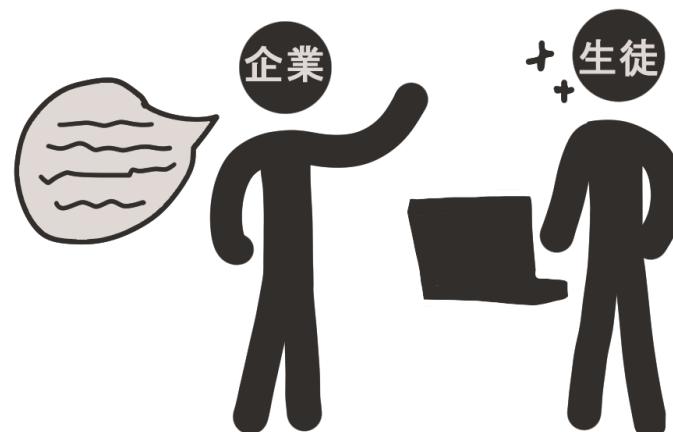
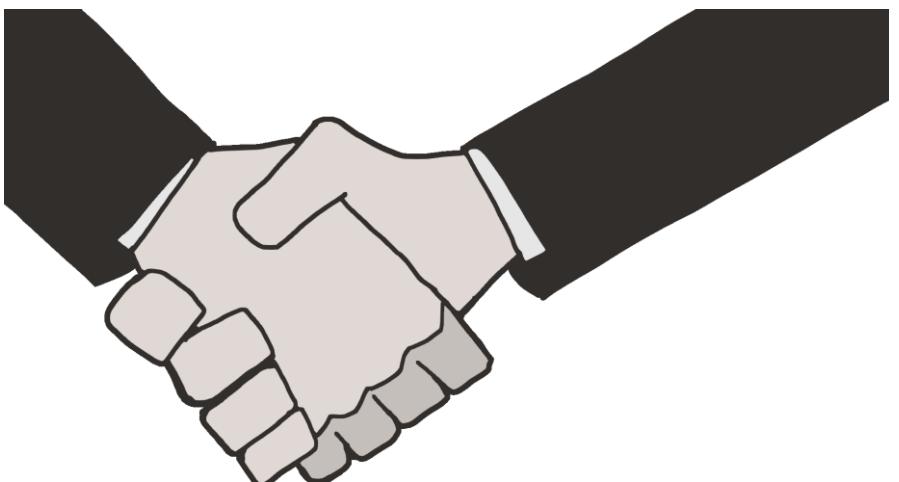
- BDDや Graphillion の話をするとアルゴリズム的な側面を強調することになってしまうのですが, そういう研究は半分くらいと見込んでいます. ですので, 「ネットワークに興味あるけど, アルゴリズムは苦手」という方も心配しないで大丈夫です.

教科書もあります



大手通信事業者と共同研究を行っており、最先端技術や問題解決方法を学ぶ機会として活用できると思います。

- 2026年度も、共同研究を実施予定です。実施できる可能性はかなり高いですが、企業・大学間での契約が必要なので、確実なことは言えない点をご了承ください（なお、他研究室の案件も含めて、共同研究に関する情報の扱いはご注意を）。
- 共同研究が実施され、積極的に参加すれば、皆さんにとって有意義な経験を積めると思います。最先端の技術や動向に触れられることはもちろん、問題解決の考え方や仕事の進め方という点でも学ぶことは多いでしょう。
- 大学院に進学すると、2年以上にわたって共同研究に参加できるので、おすすめです。



企業研究者が相手でも気負う必要はありません。  
真摯に取り組んでもらえれば大丈夫です！

# 研究室

- 教員紹介
- 研究テーマ
  - AI計算基盤
  - 通信インフラの防災
  - 運用・セキュリティ
- 研究の特色
  - BDD と Graphillion
  - 共同研究
- ▶ 研究室
  - 設備・環境
  - 運営
- キャリア形成
- 大学院への進学
- ネットワークの仕事

## 研究室: 設備・環境 (1/2)

電子レンジやソファなどの生活用品も揃っており、快適に研究に取り組める環境が整っています。

- 学生室は情報メディア館4階のかなり広い部屋です。飯野研とルームシェアしています。なお、研究室としては別なので、井上研配属者が飯野研の研究をすることはありません。
- 電子レンジやソファ、冷蔵庫、ポット、掃除機などの生活用品も一通り揃っています。研究に没頭するときも、快適な環境で集中できると思います。

学生部屋の写真

## 研究室: 設備・環境 (2/2)

シミュレーションなどに必要な高性能計算機を順次用意していきます。また、ノートPC+ディスプレイの支給を検討中です。

- 快適に研究して成果を挙げてもらうため、井上研で長く研究する方を優先して、ノートPCとディスプレイを揃えたいと思います。大丈夫だろうと思ってますが、昨今のメモリ高騰の影響がある点はご了承ください。
- Wi-Fi やプリンタ、ファイルサーバなどもあります。また、ネットワークの研究室らしく、セキュリティを高めるために自前のVPNを用意しています。
- 計算機環境については、ほぼ全部載せの Mac Studio などがあるので、当面困ることはないと思います。必要に応じて、高性能計算機を買い足したり、学術クラウドを利用する予定です。



## 研究室: 運営 (1/2)

特殊あるいは厳しい運営はしていません。配属が決まつたら希望を伺つて卒論テーマを決めましょう。

- 研究室の運営についてです。他の研究室と大きく異なる特殊な運営はしていません。
- 研究室運営に関する基本的な考え方についてですが、基本的には皆さんを大人として扱います（自由には責任が伴うという意味で）。なので、コアタイムは設けませんし、やることをやっていればOKです。
- 配属が決まつたら、希望を伺つて卒論テーマを割り当てます。私が指導できない内容だったり、一つのテーマにあまりに多くの人が集まつた場合は調整するかもしれませんが、なるべく希望を優先したいです。大学院に進学する場合、息の長いテーマにしたいです。

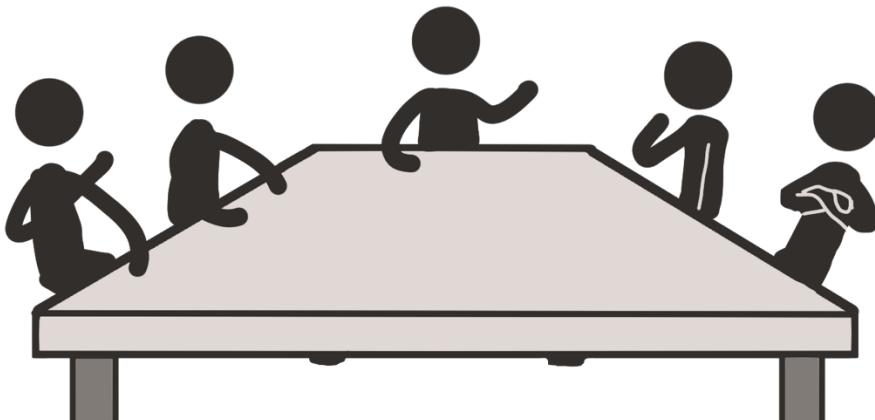
No child, no rule!



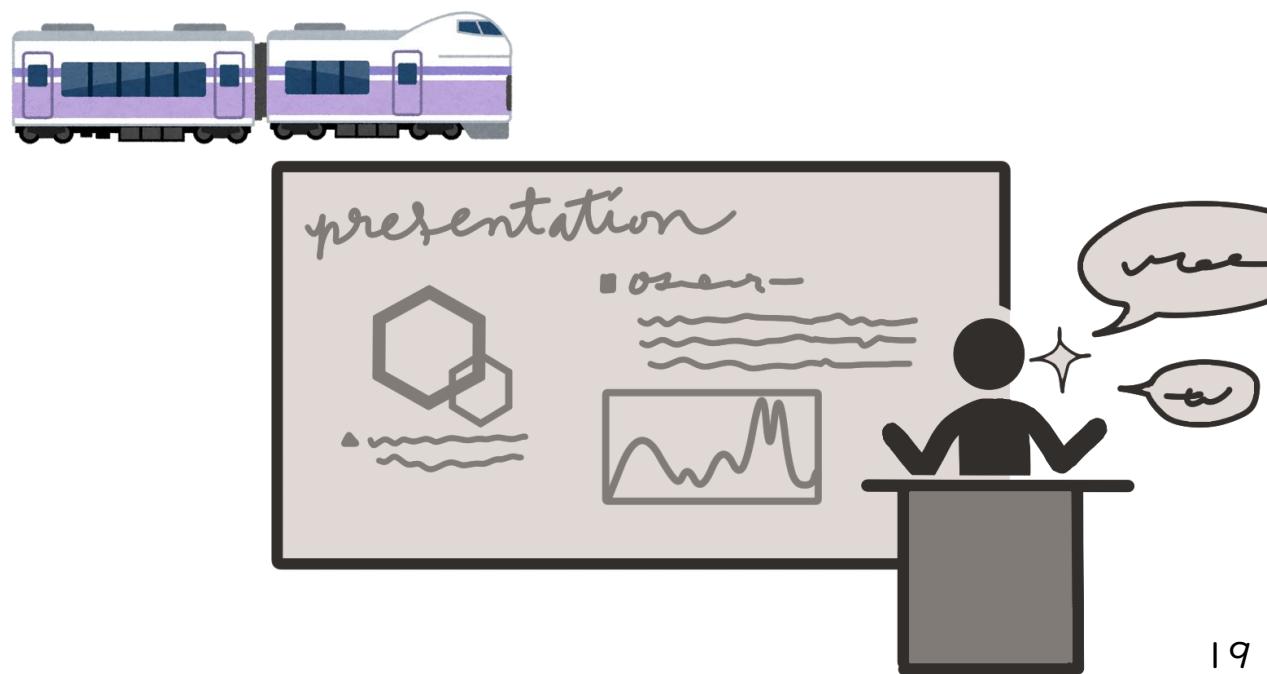
## 研究室: 運営 (2/2)

毎週ゼミを行います。4年生の前期は輪講、後期は研究進捗報告です。学会発表をサポートするので成長機会として利用してください。

- ・週2回のゼミを行っています(対面です)。曜日・时限は、皆さんの都合を伺って決めます。
- ・最初は、私から研究の背景や基礎知識を講義し、各自の卒論テーマに関する演習に取り組みます。そして、7月の発表会に向けて輪講(教科書や論文を読んで内容を紹介すること)を行います。
- ・後期は、2月の卒論発表会に向けて研究を進めています。



- ・大学院生を中心に、研究内容がまとまつたら学会で発表します。必須ではありませんが、社会人生活を左右するプレゼンスキルを磨くチャンスなので、上手く利用してください。旅費と参加費は研究室から出します(事前に予算を確認した上で)。

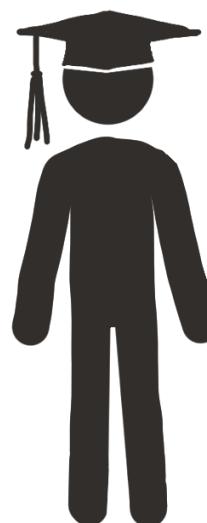


# キャリア形成

- 教員紹介
- 研究テーマ
  - AI計算基盤
  - 通信インフラの防災
  - 運用・セキュリティ
- 研究の進め方
  - BDD と Graphillion
  - 共同研究
- 研究室
  - 設備・環境
  - 運営
- ▶ キャリア形成
  - 大学院への進学
  - ネットワークの仕事

大学院への進学を推奨します。専門性を高めることで、将来的に主体的にキャリアを形成するきっかけになるでしょう。

- 専門性を活かしてキャリアを築いていくため、私個人としては大学院への進学を勧めます。これは、研究職に限らず、セールスエンジニアのように純粋な技術職ではない場合も含みます。
- 大学院およびその後の実務で専門性を高められれば、ジョブマーケットでの価値が安定するので、その後の人生で主体的にキャリアを選べるでしょう。



- 院進については、[豊浦先生のサイト](#)が充実していますので、そちらもご覧ください。

## 大学院進学の薦め

情報系学科では、山梨大学で半数ほどが大学院に進学し、超有名大学だとほぼ全員が進学するところもあります(さらには入試倍率が3倍を超えてなかなか入れないところもあります)。大学院に進学するメリットは何でしょうか？

大学入学後3年間は、授業で情報科学の基礎知識を身につけます。4年生になって研究室に配属となり、さらに対象となる研究分野の基礎知識を学んだうえで、1年弱の間に研究のひと通りの流れを経験することになります。ここまでで社会の一員となる技能は身につくかもしれません。研究ができるようになるには、時間が十分だとはいません。

授業…解けることがわかっている問題を解く練習をする。解き方は与えられる。小学校から大学3年まではこちらが中心。

研究…解けるかどうかわかつてない問題を解く。解き方は自分の頭で考える。大学4年からようやく始まる。

- ご家庭の事情なども考慮した上で、よく考えてみてください。

ネットワーク技術は安定した基盤技術でありながら、AIなど新技術への適応も行われ、**安定と変化のバランスを重視する人**に向いています。

- ネットワーク技術者という仕事について説明します。
- AIのような変化の激しい分野と比べると、ネットワークは基盤がしっかりしています。世界はインターネット(TCP/IP)でつながっていますが、全装置を一斉にアップグレードするのは非現実的\*なので、この技術基盤が大きく変わることはないでしょう。実際、TCP/IPの基本的な姿は何十年も変わっておらず、一度技術を身につければ長期にわたって役に立ちます。
- とはいえ、まったく変化がないわけではありません。インターネットは人間社会のほぼすべてをつないでいるので、たとえばAIのような新興分野が現れると、それに合わせたチューニングが行われます。HTTPもSNSの発展に合わせてバージョンアップしました。
- 基盤となる技術を活かしつつ、時代に合わせて変化していくバランスを求める人には、ネットワーク分野は向いていると思います。



\* ネットワーク装置はハードウェア実装であることも多く、ソフトウェアのように簡単にアップグレードできない