

あざらし先生とらいちょうくんのロボット談義

東京理科大学 創域理工学部 機械航空宇宙工学科 准教授 荒井 翔悟

■ 1. あざらし先生とらいちょうくんの出会い

2025 年 11 月、長野県、富山県、岐阜県にまたがる北アルプスの立山・室堂で雪が横殴りに吹きつける中で剎岳へ向かっていたあざらし先生¹は、予報はずれの天候に肩をすくめながら、白い世界の真ん中【図 1】で立ち止まります。あたりは真っ白で何も見えませんが、風の切れ目から「グェー」という声が聞こえます。声の方角へ慎重に歩くと、そこに一羽の白い雷鳥²がいました【図 1, 2A】。



【図 1】新雪に覆われた室堂周辺。風が少し弱まり一瞬視界が開けた瞬間（著者撮影）



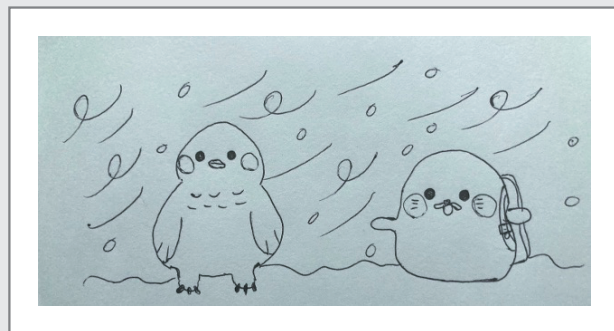
【図 2A】著者が 2025 年 11 月に室堂周辺で偶然遭遇した 4 羽の雷鳥による集会の様子（著者撮影）。雷鳥は、天気の悪い日のほうが遭遇確率が高いと言われます。この日は吹雪で周囲が見えませんでした。大人の雷鳥 4 羽が同時に集まっているところを見たのは初めてでした

らいちょうくん「わっ、びっくりした。まさか、こんなところをあざらしが歩いてくるなんて思わなかったよ」【図 2B】

あざらし先生「こっちも驚いたよ。何も見えないからそろそろビバーク³しようかと思っていたんだ」
らいちょうくん「この吹雪は手強いから、うちの山小屋に避難しよう。家族がやっているライチョウ荘【図 3】がすぐそこにあるよ。案内するよ」

■ 2. ライチョウ荘

ストーブで温められたライチョウ荘にたどり着いて、



【図 2B】らいちょうくんとあざらし先生の出会いの様子



【図 3】快適な雷鳥荘のラウンジ（※実際に存在する雷鳥荘です。本稿に登場するらいちょうくんの家族が経営する「ライチョウ荘」とは異なり人間によって運営されています）（著者撮影）

¹ 東京理科大学でロボットに関する研究と教育をしている。なぜか人間界に溶け込んで生活している…

² 氷河時代の生き残り動物で、特別天然記念物かつ絶滅危惧種。日本では北・中央・南アルプスの高山帯に分布し、生息地の南限に当たる

³ 緊急時に一時的に野営し危険をやり過ごすこと

⁴ らいちょうくんは、人間界でいう高校生に相当します。学業成績が優秀なので、雷鳥界から初めて人間界の大学へ進学しようとしています

湯気の立つ番茶を飲んで体も心も一息つけたあざらし先生。

あざらし先生「ありがとう。本当に助かったよ」

らいちょうくん「どういたしまして。ねえ先生、先生は大学でロボットの研究をしているって聞いたよ。ぼく、人間の大学へ行ってロボットを学びたいんだ。将来はバードロイドを作って、雷鳥界の省鳥化を進めたいんだ！」

あざらし先生「(バードロイド？ あ、人間界のヒューマノイドの鳥版のこと！) 省鳥化っていうんだね。助けてもらったお礼に、少し、ロボットについて話してみよう。

高校生⁴にもわかるように噛み砕いて話すから、遠慮なく質問してね」

らいちょうくん「やった！ 一晩中話そうね！」

あざらし先生「(えっ…)」

■ 3. 産業ロボット

あざらし先生「まず、世界でいちばん台数が多いロボットは、工場で働く産業ロボットだよ。小学校の社会の教科書によく掲載されているロボットアームが溶接、塗装【図4】や組み立てをしているのが代表的な使われ方の例だね」

らいちょうくん「そうなんだ！ YouTubeやSNSで人の形をしたヒューマノイドや4本足で歩くロボット【図5】をよく見るけど、腕だけのロボットのほうが主役なんだね」

あざらし先生「そうなんだ。ロボットアームの歴史を振り返ると、1950年代にGeorge Devolがロボットアームの動作を記憶して再生する仕組みを特許にしたんだ。それが産業の現場に広がっていったんだ」

らいちょうくん「記憶して再生する？ どうやって、ロボットに動きを記憶させるんだろう？」

■ 4. ティーチング

あざらし先生「いい質問だね！ 動きを記憶させてロボットに再生させる代表的なやり方はティーチングブレイバックという方式だよ。作業者がティーチングペンダントというリモコンで関節を少しずつ動かして、作業に必要な“点”を順番に登録していくんだ【図6】。その点列を本番で再生すると、ロボットが同じ動きをするんだ」

らいちょうくん「“点”って何を指すのかな」

あざらし先生「ここでいう『点列』^{てんれつ}は、ロボットが立ち寄るチェックポイントの並びで、ロボットの各関節

の角度（関節角）を記録するんだ」

あざらし先生「【図4】や【図6】のロボットアームは、各関節にモータと“エンコーダ”という回転センサが付いていて、どれくらい関節が回ったかを高い精



【図4】 FANUC P-50iA Paint Robot. ©RoboGuru, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0



【図5】 NeBula-SPOT. NASA/JPL-Caltech, Boston Dynamics 製 4 脚ロボット Spot に JPL (NASA ジェット推進研究所) の統合モジュール型ソフトウェアシステム「NeBula」を組み合わせた試作機 NeBula-SPOT. DARPA Subterranean Challenge を契機に開発された。DARPA Subterranean Challenge は、GPS が使えないトンネル、都市地下、洞窟等で、ロボットが自律的に探索を行うことを想定したチャレンジプログラム



【図6】 ティーチングペンダントで関節角を登録する様子

度で数値にしてくれるんだ。だからロボットは『いま肘を何度曲げているか』を自分で覚えられるんだ」
らいちょうくん「なるほど！　じゃあ、動きを記憶するって言うても『人が外から見せた動きをカメラで記憶させてロボットが真似する』⁵というより、『操作者がリモコンでロボットを少しずつ動かして、そのときに手首や肘や肩などの関節角がどのように曲がっていくのかを覚えさせて、それを再現してロボットが動く』に近いだね」

あざらし先生「まさにそうなんだ！　さらに現場によっては、関節が動く速度や、ある点での待ち時間みたいな補助情報も各点と一緒に登録することがあるんだ。本番では、記録した点列をつなぎながら再生して、同じ作業を安定して繰り返すことができるんだよ」

らいちょうくん「なるほど！　うん？　そうすると、ロボットは全く同じ動きを繰り返すだけなの？　そうすると困ることもあるんじゃないのかな…」

あざらし先生「そこが弱点なんだ。たとえば、製品の組み立てに使われるときだと、部品の置き場所が1センチ変わるだけで、あらかじめ記録した点列ではうまく握めなくなるんだ。だから、部品の置き場所がずれないように器具をあらかじめ用意して、そこに部品を固定しておく必要があるんだ」

らいちょうくん「そうなんだ。でもそのやり方だと、部品の数だけ器具が必要になるから、一つの製品を組み立てるだけの準備でとても大変そうだね」

あざらし先生「実際、すごく大変なんだよ。最近では、少品種大量生産⁶から多品種少量生産⁷が主流になってきて、扱う部品の数がとても増えていて大変なんだ」
らいちょうくん「ぼくたちは、部品がずれても、目で見て、部品を握むことができるよ。ロボットにはできないのかな？」

■ 5. ロボットビジョンと認識

あざらし先生「できるように頑張っているよ。そのための技術がロボットビジョンなんだ！」

らいちょうくん「ロボットビジョンって、ロボットの“目”のことを指すのかな？」

あざらし先生「その理解で合っているよ。たとえば、ロボットビジョンを使って握むときには、『カメラで撮る→物体を見つける→物体の位置と姿勢を求める→

ロボットハンドでの握み方を決める→近づきながら微調整する』という流れになるんだ！」

らいちょうくん「そうすると物体の位置と姿勢を求めるまでがロボットビジョンが担当するプロセスになるのかな」

あざらし先生「その通り！　“撮る”にはカメラが必要だよ。普通のカラー画像を撮る RGB カメラ、物体までの距離も分かる深度カメラ、または2つのカメラを使って人間と同じように立体視をして物体の距離までがわかるステレオカメラなどが使われるね。ステレオは左右のずれ（視差）から距離を三角測量で計算できるんだ！」

らいちょうくん「いろんなカメラがあるんだね。物体までの距離が分かることが大事なの？」

あざらし先生「うん、物体までの距離がわからないと、どれくらい腕を伸ばせばいいか決められないんだよ」

らいちょうくん「なるほど！　撮影した画像の中からどうやって物体を見つけるんだろう？」

あざらし先生「『見つける』では『写真のどこに物体があるか』を推定するよ。最近では、ディープラーニングという AI 技術を使った物体検出やセグメンテーションが主流になっているね」

らいちょうくん「セグメンテーション？」

■ 6. 画像認識タスクの種類

あざらし先生「順番に説明していくよ。まず、画像を使った認識と一口に言っても、その認識にはいくつかの種類があるんだ」

らいちょうくん「さっきでてきた、物体検出やセグメンテーションはその種類を指してるんだね」

あざらし先生「そうなんだ。そして、画像認識タスクでも難易度に違いがあって、例えば比較的難易度が低いのは、画像分類と呼ばれる認識タスクになるよ」

らいちょうくん「画像分類って、具体的には何をするんですか？」

あざらし先生「1枚の画像につき、カテゴリ（クラス）を1つだけ選ぶタスクだよ。例えば、ある写真に写っているのが『雷鳥／人／山小屋／雪景色』のどれか1つに決めることだよ」

らいちょうくん「1枚につき1つのクラスを決めるってことですね！」

⁵ という人が作業する様子を見せて、ロボットがそれを AI を使って真似して動くようにさせる模倣学習の研究が行われています

⁶ 同一仕様を大量に作る生産方式

⁷ 多くの種類を少量ずつ作る生産方式。例えば、同じ車でも色や機能がわずかに異なるバリエーションが多く存在し、客がオプションとして選べるようになっている

あざらし先生「そう。ただ、実際の写真には複数のものが写ることも多いだろう？ そのときは多ラベル分類を使う。1枚の中に『雷鳥』と『雪』と『山小屋』を同時に付けていくんだ」

らいちょうくん「同じ写真にラベルをいくつも貼っていくわけだ」

あざらし先生「さらに、写真のどこに写っているかで特定するのが物体検出だね。たとえば、画像の中に写っている雷鳥の位置を四角い枠で示す。『ここが雷鳥』って指差しできるようにするんだ」

らいちょうくん「存在だけでなく場所も返してくれるんですね」

あざらし先生「うん、さらに四角い枠より正確に、画素単位で領域を特定することをセマンティックセグメンテーションと呼ぶよ【図7】。写真の中の1画素ごとに『雷鳥／雪／岩…』と塗り分けることだね。同じ種類はすべて同じ色で塗り分けるよ」

らいちょうくん「雷鳥は全部この色って塗るイメージですね」

あざらし先生「もう一段詳しいのがインスタンスセグメンテーション【図7】。同じ“雷鳥”でも1羽ずつ別の領域として塗り分ける。だから『雷鳥が何羽いるか』まで区別できる」

らいちょうくん「なるほど、ここまでをまとめるとタスクの難易度は——画像分類、多ラベル分類、物体検出、セマンティックセグメンテーション、インスタンスセグメンテーションの順に難しくなっていくんだね」

■ 7. 透明物体のハンドリング

あざらし先生「少し細かい話になってしまったね」

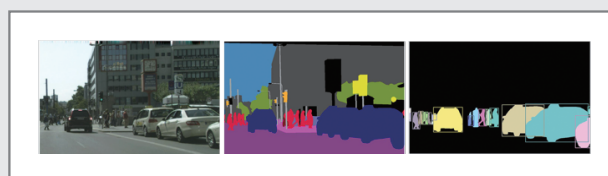
らいちょうくん「いいえ、何気なくロボットの動画とかニュースを見ていたので勉強になります！」

らいちょうくん「ところで、先生の研究室では、ロボットビジョンについてどんなことを研究してるんですか？」

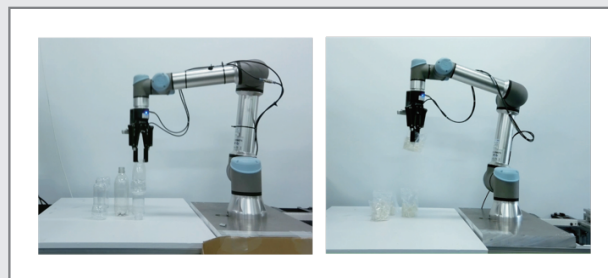
あざらし先生「いろいろな研究をしているよ。たとえば、透明物体や金属光沢物体の3次元計測と把持を統合して実行する方法の研究をしているよ」

らいちょうくん「ガラスやピカピカの金属をロボットアームで掴む研究ですか？」

あざらし先生「その通り。3次元計測は、物体表面で光が反射して、その反射を観測することで行われるんだけど、こうした物体は光が物体内部を透過したり、金属製の物体はその表面の鏡面反射で周りが映り込ん



【図7】 左：原画像、中央：セマンティックセグメンテーション結果、車、人、信号機などが種類ごとに同一色で塗られている。右：インスタンスセグメンテーション結果、同一種類であっても個体ごとに異なる識別が実現できている。出典：Frontiers in Artificial Intelligence, CC BY 4.0



【図8】 透明物体のハンドリングロボットシステム

でしまっ、3次元計測そのものが難しいんだ」

らいちょうくん「そこでどうするんです？」

あざらし先生「AI+物理モデルというアプローチを提案しているよ。まず小さなAIで写真の中で、どこに透明物体が写っていて、どこに金属物体が写っているかを特定するんだ」

らいちょうくん「前の節で話したインスタンスセグメンテーションですね！」

あざらし先生「その通り！ ロボットアームにつけたカメラを使って、様々な方向から写真を撮影して、各写真に対してインスタンスセグメンテーションするんだ」

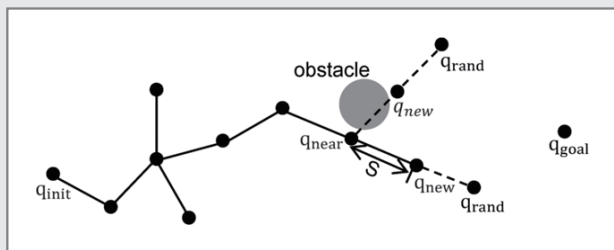
らいちょうくん「うんうん」

あざらし先生「その結果を使って、三角測量の原理から多視点の“影絵”の共通部分から外形を復元する。いわゆる Shape from Silhouette（シルエットからの形状復元）だよ」

らいちょうくん「AIだけでなく、物理だけでもない、ハイブリッドな方法ってことか」

あざらし先生「うん。AIを使うと、やらせたいことが複雑になるほど学習データが多く必要になるし、計算時間が長くなったりするんだ。一方で、物理モデルだけだと汎用性が低かったりノイズに弱かったりするんだ」

らいちょうくん「データが少なくても、汎用性が高くて、計算コストが低いのはうれしいですね」



【図 9】 RRT アルゴリズムによるスタート位置からゴールへの経路探索の様子 [Lei, S., et al., Scientific Reports, 2025, CC BY-NC-ND 4.0]

8. 経路計画

らいちょうくん「少し話が変わるんですけど、ぼくは山小屋の配膳を自動化したいから、客室まで食事を運ぶ配膳ロボットを作りたいんです」

あざらし先生「らいちょうくんが最初に話してた省鳥化の話だね」

らいちょうくん「はい、そのためには、配膳ロボットがぶつからないルートを走れると嬉しいんですけど、廊下に荷物を置いたり、メンテナンスする部屋があったりで、日によってルートが変わってしまうので、自動的にルートを求める方法が必要なんです」

あざらし先生「それは経路計画の出番だね。たとえば、RRT という有名な方法があるよ」

らいちょうくん「RRT って何ですか？」

あざらし先生「Rapidly-exploring Random Trees という方法だよ。【図 9】を見てごらん。Tree という名前の通り、スタートから木を伸ばし、空間にランダムに点を選んで、近い枝から少しだけ伸ばす。これを繰り返すと、木がまんべんなく広がる。ゴール付近に枝が届けば道がつながる。最短とは限らないが、まずは通れる道をすばやく見つけることが得意な方法だね」【図 9】

らいちょうくん「なるほど！ この方法を使えば配膳ロボットを動かそうだな」

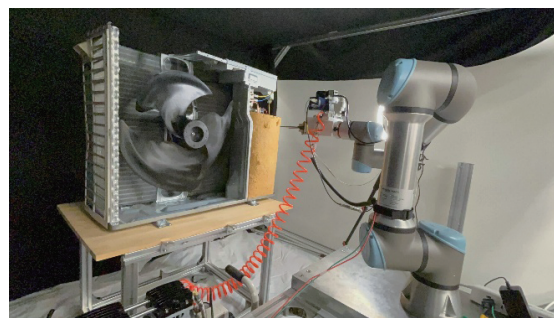
9. 解体システム

らいちょうくん「ロボットって、やっぱり製品の組み立てに使われることが多いの？」

あざらし先生「その通りだよ。ただ今は、使い終わった製品を分解して、部品を次の製品で再利用する動きがとても大事になってきたんだ！」

あざらし先生「正式にはリマニュファクチャリング (remanufacturing) と呼ぶんだ。『捨てる前に、部品としてもう一度働いてもらう』という考え方なんだ！」

らいちょうくん「なるほど！ 解体は、製品の組み立



【図 10】 自動配線切断システム。家電リサイクル工程での配線切断を自動化するために開発されたロボットシステム。カメラで配線の位置と切断箇所を認識し、マニピュレータが刃を動かして自動で切断する

ての逆だから、比較的簡単なのかな？」

あざらし先生「それが実はけっこう難しいんだよ」

らいちょうくん「え？！ どうして？」

あざらし先生「うん、難しさは主に 3 点あるんだ」

あざらし先生「第一に、製品は組み立てられることを想定されて設計されてるけど、解体されることを想定されてはいないんだ」

らいちょうくん「うんうん」

あざらし先生「たとえば、配線をつなぐコネクタという部品があるんだけど、接続することは簡単だけど、外すのがすごく大変なコネクタが使われているケースがあるんだ」

らいちょうくん「そうなんだ」

あざらし先生「第二に、製品を組み立てるとき、部品はすべて新品だけど、廃棄された製品は状態がまちまちで、固着してなかなか外せない部品（ビスなど）があるんだ」

あざらし先生「第三に、製品を組み立てるときは、基本的に組み立てるロボットには製品の設計図があらかじめ入力されていて、その情報を使って組み立てることができるんだ。でも解体するときは設計図がわからないんだよ」

らいちょうくん「え？ そうなの？ 作ったメーカーにもらえばいいんじゃないの？」

あざらし先生「他社に知られたくないから基本的に秘密にされているんだよ。あと、リサイクル工場には様々なメーカーの家電が集まるし、古い製品も多いから膨大な数の設計図が必要になるよ」

らいちょうくん「考えてみればその通りだね、解体はロボットにとって難しい仕事なんだね」

あざらし先生「その通りなんだ。だから、ぼくらは家電を丁寧に解体するロボットシステムの研究をしてい

るんだ【図 10, 11】」

■ 10. 麺類自動調理システム

らいちょうくん「まだまだ聞きたいことがたくさんあるんだ」

あざらし先生「(…) らいちょうくん、そろそろ眠くなってきたから明日にしようよ」

らいちょうくん「ほんとだ！ もう 20 時だね⁸じゃあ、最後にあざらし先生の研究室に入った学生はどんなことをするのか教えてよ」

あざらし先生「4 年生に研究室への配属（東京理科大学創域理工学部機械航空宇宙工学科のケース）があるんだ。4 年生の後半は卒業研究をするよ。そのために 4 年生の前半でいろいろなことを学んでいくよ。たとえば、うちの研究室では、ロボットを使った麺類自動調理システム【図 12, 13】をチームで作るんだ。理大祭に出店して、ロボットシステムで作ったラーメンを実際に販売しているんだ。一人ひとりが要素技術を担当して、最後に統合して一台のシステムとして完成させるんだ」

らいちょうくん「要素技術って、どんな担当があるのかな」

あざらし先生「たとえば、麺を茹でて湯切りする動作を作る担当や、カメラでチャーシューを認識してお皿にロボットで盛り付ける担当などいろいろな担当がいるよ。最後はみんなで安全設計とテスト運用を回して、本当にお客さんに出せる品質に仕上げるんだ」

らいちょうくん「とってもわくわくするね！」

あざらし先生「同時並行で、ロボット工学、AI、数学を合宿や輪講で学ぶんだ。それから Python や ROS 2 での実装を通して、学んだことを実機で確かめるんだ」

あざらし先生「理論と実装と運用をセットで学習していくよ」

らいちょうくん「とっても楽しそうだなあ」

あざらし先生「とってもわくわくするね！」

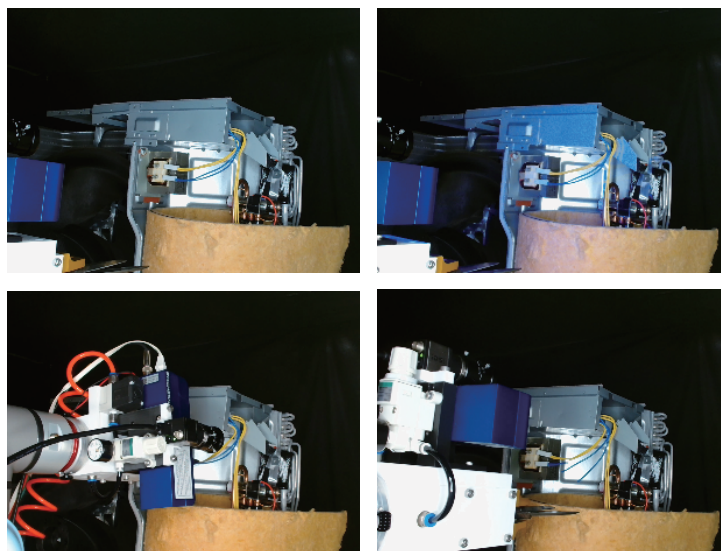
あざらし先生「同時並行で、ロボット工学、AI、数学を合宿や輪講で学ぶんだ。それから Python や ROS 2 での実装を通して、学んだことを実機で確かめるんだ」

あざらし先生「理論と実装と運用をセットで学習していくよ」

らいちょうくん「とっても楽しそうだなあ」

謝辞：本稿の研究成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業（JPNP23002）、JKA 機械振興補助事業（研究補助）、JSPS 科学研究費補助金 24K07379、および財団法人メカトロニクス技術高度化財団の支援を受けて得られたものです。

⁸ 山の夜は早いのです



【図 11】自動解体ロボットシステムにおける配線切断。左上：スタート位置。右上：アーム先端のカメラで家電内部を撮影（撮影のため光が照射される）し、撮影画像から配線を認識し、切断位置を検出する。左下：切断位置に向かい障害物を避けながらアプローチする。右下：切断位置で、空気圧アクチュエータ駆動の切断機構によりケーブルを切断する

付記：冒頭の雷鳥との出会いは、2025 年 11 月に著者が北アルプス・室堂周辺で実際に体験した出来事がベースとなっています。雷鳥荘にも宿泊し、その折に本稿のストーリーを思いつきました。雷鳥に少しでも関心を持っていただければ幸いです。



【図 12】麺類自動調理システム。著者の研究室に配属された学部 4 年生が最初に取り組む課題の一つ。構築されたシステムを使って調理したラーメンを大学祭で実演販売している。1 日約 8 時間連続でシステムを稼働させる必要があり、信頼性も要求される。毎年、システムの機能追加がある



【図 13】東京理科大学荒井研究室の紹介動画。左：麺類自動システムのショート動画（YouTube）。中央：土佐兄弟の大学ドコイク（YouTube）。右：研究室公式 Web