

## コンピュータグラフィックスから折紙へと広がる研究の歩み

### The evolution of research from computer graphics to origami

三谷 純 (Jun Mitani)

筑波大学 (University of Tsukuba)

e-mail: mitani@cs.tsukuba.ac.jp

#### 1 概要

講演者は現在、主に折紙の形状モデリングに関する研究に取り組んでいる。もともとはコンピュータグラフィックス分野における三角形メッシュの処理を専門としていたが、独自の研究テーマを模索する中で、折紙という新たな対象に着目するようになった。今回の講演では、折紙研究の魅力を紹介するとともに、時代の流行に流されない研究スタイルの面白さや、その中で直面した困難についても語る。

#### 2 折紙の研究を始めるまで

講演者は筑波大学システム情報工学研究群にて、「計算幾何学とグラフィックス研究室」という名称の研究室を金森由博教授・遠藤結城准教授とともに運営している。研究室名に折紙というキーワードは含まれず、主にはコンピュータグラフィックスのための形状モデリング（三谷）と画像生成（金森・遠藤）を研究テーマとしている。講演者自身は折紙に特化した形状モデリングに関心をもっており、ここ最近では、もっぱら折紙で作るカタチに関する研究をメインに取り組んでいる。講演者が20年前に筑波大学に着任した当初は三角形メッシュの取り扱いをメインとした形状モデリングのためのアルゴリズムやデジタルファブ리케이션、およびユーザインタフェースが主な研究対象であったが、3DCG/CADが産業的に拡大するにつれ、世界の大手企業がCG分野の研究開発にしのぎを削るようになった。そこで、ニッチで尖った領域を探した結果として、折紙の研究にたどり着き現在にいたる（今は生成AIによる画像・動画生成に米国大手企業がしのぎを削っているため、CG分野の研究室の多くは再び生存戦略を考えなくてはならない時期になっている）。

この変化の激しい時代に、折紙の研究でこれまで生き延びてこられたことは有難いことである。折紙は伸縮しない素材で形を作る技術でもあるため、実はこれは産業分野においても極めて有益な技術でもある。折紙をキーワードとしながらも、複数の企業との共同研究にも取り組むことができた。

講演者が実質的に折紙の研究へ大きく舵を切るきっかけになったのは、2005年夏の第11回折紙探偵団コンベンションまで遡る。当時の講演の後の質疑で、舘知宏氏（現：東京大学教授）から、「どんな形でも折紙で作れると思いますか？」といった趣旨の質問をいただいたのを、今でも記憶している（その後、舘氏は、MITのエリック・ドメイン氏と一緒に、2017年に「一枚の紙から折るだけでありとあらゆる立体形状を実現するアルゴリズム」を発表した[1]）。そこで大いに刺激を受け、2006年には折紙の研究でJST（科学技術振興機構）の「さきがけ」研究予算を獲得し、40SME（第4回折紙の科学国際会議）への初参加を経て、折紙の研究分野へと本格的に踏み込むことになった。

### 3 これまでの取り組み

これまでに、主には平坦折りの数理に関する研究と曲線折り設計手法の開発に取り組んできた。具体的な文献リストはインターネットで検索いただくとして、ここでは主なテーマをいくつか挙げる。

- ・展開図入力ツール，平坦折り後の形状および紙の重なるの算出（ソフトウェア ORIPA）
- ・格子パターンから折り出すことができる形状の列挙
- ・紙を折る工程を CG で再現する折紙シミュレータ
- ・軸対称な立体折紙を設計するためのシステム（ソフトウェア ORI-REVO）
- ・鏡映反転をベースとした，直感的操作を実現した立体折紙設計ツール（ソフトウェア ORI-REF）
- ・Origami Simulator への曲線折りを実現する機能の実装
- ・空間曲線での折りを持つ形状の設計ツール
- ・折紙らしく見える形状を素早く構築するツール
- ・ねじり折りをベースとした Origami Tessellation 設計ツール
- ・格子パターン展開図の平坦折り可能性判定問題とその拡張
- ・平坦折り可能な展開図の穴埋め問題

### 4 折紙という研究テーマ

講演者にとって、折紙の研究は楽しくやりがいを感じているが、情報科学分野の学生に興味を持ってもらうことはなかなか難しい。以前はコンピュータグラフィックスの研究を看板に掲げていたこともあり、ゲーム開発などに興味がある学生が講演者の研究室に来てくれることも多かったが、折紙の研究を前面に出して以降は、学生に人気がある研究室とは言えない状況が続いている。とくに就職のことを考えると、機械学習、AI といった最先端のキーワードを掲げる研究室の人气が高く、「情報科学を学びたくて入学したのに、なぜ折紙なのか？」というのが、学生の実際の感想だろう（その一方で、海外では Origami が、建築、機械工学、材料工学の分野のキーワードとして使われることが増えており、折紙を学びたいという強い意志を持って、講演者の研究室を希望する留学生は多い）。大学の教員が研究テーマを自分の意思で決定することは極めて重要なことであるが、研究室を継続的に運営、発展させていくためには、戦略的な取り組みが必要である。また、とくに近年は組織評価による多方面からの圧力があるが、それに屈しない強い意志も求められよう。

### 参考文献

- [1] Erik D. Demaine and Tomohiro Tachi, “Origamizer: A Practical Algorithm for Folding Any Polyhedron”, in Proceedings of the 33rd International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2017), Brisbane, Australia, July 4-7, 2017, 34:1-34:15.

## 海外研究放浪記：応用可積分系編

### A Global Research Odyssey: Applied Integrable Systems

丸野 健一 (Ken-ichi Maruno)  
早稲田大学理工学術院 (Waseda University)  
e-mail : kmaruno@waseda.jp

#### 1 概要

講演では、講演者がアメリカの大学でテニユア・トラックの Assistant Professor になるにいたった経緯とテニユア取得に至るまでの経験を中心に、海外での研究生生活、ジョブハンティング、テニユア取得までの道のりについて紹介する。

#### 2 ポスドク生活

私の場合、博士号取得時に、大学院生時代に過ごしていた九州大学応用力学研究所の任期付き研究員に運よくすることができ、その1年後に学振PDになることができた。当時の学振PDは、所属・指導教員を変えることは必須ではなかったので、そのまま九州大学応用力学研究所で学振PDとなった。とはいえ、同じところにいても良いことにはならないと感じたので、研究費を使って国際会議に参加することにした。最初に参加したのがポーランドの数理解物理の国際会議で、当時、香港城市大学にいたMa氏（現在は南フロリダ大学）と知り合った。国際会議で宿泊していた大学の寮でMa氏とキッチン等を共有することになり仲良くなったことで、Ma氏のところに3ヶ月間研究留学することとなった。Ma氏のところに滞在していた間に、オーストラリア国立大学のAkhmediev先生と出会った。Akhmediev先生はローグ波と呼ばれる海洋上に突然現れる巨大な波の研究において第一人者として世界的に有名な方であるが、出会った当時は、ローグ波の研究はまだ流行っておらず光ソリトンやレーザーなどの理論研究で有名であった。当時、自分の研究の方向性を模索していた時期で、非線形光学に関係する研究をして自分の研究の幅を広げたいという思いもあり、Akhmediev先生に研究留学を直訴したところ、快諾していただいて、オーストラリアに研究留学することとなった。

日本とオーストラリアを行ったり来たりの生活で、トータルで2年間近く滞在した。その間に、日本にいた時とは大きく違う方向の研究をすることができ、論文も数本書くことができた。滞在中、Akhmediev先生がSummer Schoolを開催してくださり、有名な研究者を多数招聘してくれた。その中の1人がコロラド大学のAblowitz先生であった。Ablowitz先生は滞在中に私のオフィスの席を使っていたため、個人的に話をするすることができ、Ablowitz先生のところで研究したい、と直訴すると快諾していただいた。ただし、学振PDは切れてしまうので、何か手はないかと模索し、留学仲間から教えてもらったロータリー財団の奨学金に応募してみたところ、奨学生に選ばれ、Ablowitz先生のいるコロラド大学に研究留学することができた。

Ablowitz先生は可積分系研究の第一人者であり、また、社交的でカリスマ性のある方なので、世界中から一流の研究者がAblowitz先生を度々訪れるので、滞在中に様々な研究者に会うことができた。特に貴重だったのは、Biondini氏、Prinari氏、Hoefer氏など同世代の若手研究者との出会いであった。Biondini氏のセミナー講演を聞いて、そこからいろいろ議論が始まって彼と共著論文を書くことができた。この刺激的な環境にしばらくいたかったが、九州大学数理学研究科の21世紀COE特任助手となることになり、留学を切り上げて日本に戻るようになった（結局、コロラド大学

にいたのは4ヶ月間であった)。

日本に帰ってからも、研究上の刺激を自分に与えるべく、可能な限り国際会議に参加したり、海外の研究者の訪問を意識的に行っていた。日本に帰ってから2年ほどして、Biondini氏から、彼のいるニューヨーク州立大学バッファロー校でテニユア・トラックの Assistant Professor を募集しているので応募しないか、とのお誘いがあった。海外の公募の申請はどうやっていいかわからなかったが、彼から大学教員になるためのマニュアル本を勧められ、それを読んだ。また、書類もどう書いていいかわからなかったが、彼が手伝ってくれた(というより、ほぼ彼が書いてくれた)。書類ができた頃に、国際会議で出会った Feng 氏からメールが来て、彼がいるテキサス大学パンアメリカン校(現在はテキサス大学リオグランデバレー校)で公募が出ているので出さないかと誘われて、そこも応募することにした。書類はすでに出来ていたのをそれをほぼそのままで出した。結局、応募した2校のうち、テキサスに面接に呼ばれることになった。アメリカの面接は少なくとも丸1日で、学部長などいろいろな人に会うので、ボロが出る気がしたが、周囲の方々の協力のおかげで、無事、オファーをもらう事ができた。講演では、アメリカでのジョブハンティングについて詳しく説明する。

### 3 ジョブハンティング

テニユアトラック職のジョブハンティングは、通常秋(9-11月)に始まる。基本的に、有名な研究中心大学から面接が行われ採用者が決まっていき、研究中心大学の採用者が決まった後に教育中心の大学の採用者が決まっていく。主な求人情報は以下の Web サイトで確認できる。

- American Mathematical Society: [www.ams.org/eims](http://www.ams.org/eims)
- MathJobs.Org: [www.mathjobs.org](http://www.mathjobs.org)

応募に必要な書類は、カバーレター(Cover Letter)、Research Statement, Teaching Statement, 履歴書(CV)、推薦状(通常3通以上)である。どこの大学もこれであるので、カバーレターだけ大学毎に変えれば良く、他の書類は同じものを使えばよい。アメリカの人は、100件くらい応募するのが普通だそうである。

選考は通常、書類審査、最終候補者に対するキャンパス訪問(On-site Interview)という流れになる。訪問時には講演(Job Talk)と模擬授業が課されることが多い。講演では、研究の広がりや共同研究の可能性も伝える必要がある。また、学科の教員と夕食に行くが、夕食の場で同僚とうまくやっていける人かをチェックされるので、夕食の場でも面接が行われていると考えた方がよい。

### 4 テニユア取得までの道のり

Assistant Professor として採用された後、通常6年程度でテニユア審査を受ける、審査では以下の3点が主に評価される：

- 研究業績：査読付き論文数、引用数、外部資金の獲得状況など。
- 教育：授業評価、シラバス、教材の工夫など。
- 貢献：学内委員会、学会活動、アウトリーチなど。

特に研究実績が重視され、外部推薦者(アメリカ国内外の専門家)による推薦状が極めて重要な役割を果たす。教育中心の大学であれば、研究以外の実績も重要となる。