

# GPの過去，現在，未来

## Genetic Programming: Its past, present and future.

伊庭 斉志  
Hitoshi Iba

東京大学大学院 工学系研究科  
School of Engineering, The University of Tokyo  
iba@iba.t.u-tokyo.ac.jp, <http://www.iba.k.u-tokyo.ac.jp/>

**keywords:** 遺伝的プログラミング, GP, Genetic Programming, 遺伝的アルゴリズム, Genetic Algorithms, 人工知能, 人工生命, 複雑系, シミュレーション研究.

### Summary

Genetic Programming (GP) has a relatively short but exciting history. This interesting field has been steadily growing. However, there had been a conflict between GPs and GA people at the earlier stage of research emergence. It dramatically seems to have demonstrated the systematic abuse of the peer review process and of unethical behavior, intellectual dishonesty, and scientific misconduct. In this paper we show such historical anecdotes, e.g., the massacre of GP papers in ML95, proposed ICGA95 arrangements, and FOIA requests etc. We give some lessons from the above historical events, hoping that history never repeats itself in our community.

## 1. はじめに

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms, 以下 GA) と異なり, 遺伝的プログラミング (Genetic Programming, GP) の成り立ちには, いくつかの興味ある逸話がある。それはさまざまな思いを持つ研究者が, 創発的に作りあげたコミュニティの必然かもしれない。幸いなことに筆者は GA と GP 研究の勃興のころ (1990 年ころ) からこの分野に入っており, 初期の興奮, 熱狂および失望などにじかに接することができた。こうしたできごとは (少なくとも日本では) 余り語られていない。本稿では GP の過去から現在までについて振り返ってみようと思う。それにより新しい研究分野や学会を立ち上げるときの教訓が得られるかもしれない。さらに, 今後 GP や Evolutionary Computation (進化計算, 以下 EC) の研究が進んでいく道も明らかになると期待するからである。

## 2. GP はどこから来たのか?

GP は Stanford 大学の John Koza が提唱したプログラミング自動生成の手法であると思っている人は多い。しかしこれは正しくない。AI の分野では, Koza 以前にも同じような考えでルール生成や概念形成の研究を行っていた人々が存在していた。たとえば, 1977 年には Douglas Lenat による AM という数学的概念発見システムが実現され, 素数やその他の数学的概念を発見したことが報告されている [Michalski *et. al.*84]。このシステムでは, プログラムへの突然変異やランダム生成の考えが導入され, 「面白さ」の基準に従って意味あるものを残すという適合

度選択も採用されている。1985 年の GA の国際会議 (後述する第一回 ICGA) では, 木構造型の遺伝子が Cramer によりすでに提案されていた [Cramer 85]。また, 高次の知識表現に基づいて繰り返し囚人のジレンマの戦略を学習する試みもあった [Fujiko 87]。ここでは LISP の形式で戦略を表現して, 現在の GP 的な手法を用いて進化論的な学習を実現した。

筆者が GP (の前身) を知り興味を覚えたのは GA を知って間もなくのこと, 1990 年頃である。当時はまだ遺伝的プログラミング (GP) という用語は定着しておらず, 構造的 GA, 木表現の GA などと呼んでいた [伊庭 90, 伊庭 91a, 伊庭 91b]。AI を研究していた筆者には, 「GA は最適化のみを目指している」と見ていたため (今はそうではない), GA がいささか飽きたらなく思えた。そこで GA で知識表現, プログラム, 概念木などを扱えないかと考えて, 拡張を試みていたのである。ちょうどその頃, 電総研の客員研究員として来られていた NASA の Philip D. Laird 氏<sup>\*1</sup>に筆者の研究を話すと, Stanford 大学の John Koza の研究を紹介された。1991 年の正月休みに Koza のテクニカルレポート [Koza 90] を読んだ時の感動を今も覚えている。そのレポートは後の分厚い (800 ページにもなる) 大著 [Koza 92] につながるものであった。

90 年代半ばに GP のメーリングリスト<sup>\*2</sup>において, GP の最初の提唱者は誰かについてホットな議論が起こった。

\*1 Laird 氏は「例からの学習」で著名な機械学習の研究者である [Laird 88]。

\*2 Genetic Programming (GP) E-Mail List のこと。1,000 人を超える研究者が参加する。詳細は [http://tech.groups.yahoo.com/group/genetic\\_programming/](http://tech.groups.yahoo.com/group/genetic_programming/) を参照のこと。

確かに Koza を創始者と呼ぶのは言い過ぎである。ただし、後述するようにいくつかの苦難を乗り越えて、Koza は GP の基本思想を最初に大著 [Koza 92] としてまとめており、さらにその後の精力的な宣伝活動や学会活動を考えると、他のグループを圧倒していたのは事実であった。

やがて Koza が GP に関しての特許を取得したという噂が広まった。確かに Koza が配布する GP の LISP コードには次のようなヘッダーが入っている。

```

;=====
; Copyright (c) John Koza, All rights reserved.
; U.S. Patent #4,935,877. Other patents pending.
;=====

```

これには正直なところ非常に困惑したが、彼が GP の使用・研究開発を妨げたという話は特に聞かれない。後に彼自身に確認したところ、特許の意図は他の人に先にとられて自由な研究活動を阻害されないための防御ということだった。実際、筆者自身が GP の本 [伊庭 96] を執筆した時にも彼は快くソースコードなどの使用を許諾してくれた。しかしながら、このことが逆に Koza と他のグループを遠ざけることにもなっていたかもしれない。

### 3. GP の 外 患

GA と GP の違いは、一言でいえば GP が AI に近いということである。これを GP の定義としてもよい。筆者自身、博士論文は AI の分野（幾何学的推論）で取得しており、現在でも AI 研究の一翼を担っていると自負している。結果として GP 研究に多くの AI 研究者が参入し、研究テーマの多くが AI とオーバーラップしている。それによって少なからず AI 研究者との軋轢や無用の誤解が生じることにもなった。

GP はその発祥当時から前途洋々ではなかった。確かに Koza の本は良く書かれていたが、その反面それが分かり易過ぎたかもしれない。できることしか書かれていない、理論がない、結果の追試ができない、などの批判もあった。これは現在の「ヤッコ \*3」と呼ばれる中傷につながる。その結果、慎重な AI 研究者が多い日本では、GP がいま一つ盛り上がらないことになった。

90 年代の初めといえば、ワークステーションや大型計算機で何日も（ときには何週間も）実験することが GP（や GA）では必須であった。現在では学生が自分の PC 上でいとも簡単に GP の実験をしているのとは隔世の感がある。そんな旧石器のような時代には、Koza が提出した数多くの結果を追試する環境がほとんどなかった。Koza 自身は当時の最高速の並列マシンを駆使して実験してい

\*3 シミュレーション研究に対する批判の 1 つ。「ヤッてみたらコーなりました」ということしか書かれていないということ [和泉 02]。

たという。当時 Stanford 大学に客員研究員として滞在した筆者は、Koza らのグループと身近に接し共同研究や議論をする機会を得たが、彼の研究環境がうらやましかったのを覚えている\*4。

その頃筆者は電総研（現産総研）・知能情報部・推論研究室に所属していた。ここは AI の最先端を研究する部署であるが、幸いなことに GA や GP 研究に理解を持つ人が多かった。そのため AI と GP の研究交流が十分に行えた。たとえば当時の室長の佐藤泰介氏（現東工大）は、帰納的論理プログラミングの専門家であったが、同時に GP のようなヒューリスティック探索の持つ意義もよく理解されていた。その結果、GP を古典的 AI の分野に持ち込むことにより、興味深い共同研究をいくつか行うことができた。

90 年代初めには GA 自体が AI とは見なされていなかった。ある「強い AI 研究者\*5」が「アルゴリズム」というタームに反発していたのを覚えている。ましてや GP という方法で、プログラム合成、問題解決、概念形成が扱われることに違和感や反感があったに違いない。1995 年に人工知能学会のチュートリアルで「遺伝的プログラミングと進化論的学習」という題名で講演を行ったとき、ある先生から「結局 GP はランダムサーチ（の改良版？）ではないか？」と質問された。現在ではこれに対する解答は十二分に得られている。しかしながら、当時は従来の AI で扱っていた同じようなタスクを GP で進化的に解く意義を少しも理解してもらえなかった。確かに手持ちの資料だけでは理論や比較実験も十分ではなく、恥ずかしながら本当に納得してもらえる説明をしたか覚束ない。

そのころの AI 業界との競合として有名なのは、Koza と Brooks の間のロボット学習に関する論争である。以下これについて簡単に説明しよう。

Brooks は自律移動ロボットの行動計画のために包摂アーキテクチャ（Subsumption Architecture, SSA と略す）という新しいアプローチを提唱した [Brooks86, Brooks87]。この手法では問題を非同期的な部分タスクを遂行する行動（task achieving behaviors, 以下 TAB と略す）に分割する。TAB の例としては、物体を通過する行動、うろつきまわり、探索行動、物体の同定などがある。これらは単独で非同期的に動作し、互いの行動は弱い程度に関連しているだけである。さらに各 TAB は直接外界と結合し、センサーとアクチュエータを有している。従来のロボットのアプローチと違い、SSA には次のような利点がある。

\*4 実際に訪問してみると、計算機環境はほとんど彼の個人所有であり、研究室は丘の上にある豪邸の一室であった。ゲーム会社社長でスクラッチ技術の特許を所有するという彼ならではのことであった。

\*5 強い AI とは、コンピュータで実現するものは知能そのものであるという立場を意味する。一方弱い AI とは、コンピュータに知的な雰囲気を取り入れて賢くしようという立場のことである。人工生命 (AL) でも強い AL と弱い AL が定義できる。本稿での AI は、どちらかと言えば強い AI を意味する。

- (1) 複雑な問題に対しても独立に TAB を増やしていくことで対処可能である。
- (2) 一部分に誤りがあったとしても全体としては影響を受けにくい。

SSAにおけるTABは拡張有限オートマトンの形式で表現される。各TABは実行可能条件に基づくネットワークを構成し、全体として問題を解決する。これらはLISPに似た言語BL (Behavior Language) を用いて記述される。

こうした形式化と言語仕様に着目してKozaはSSAによるロボットのGP学習を試みた。しかしながら、Brooks自身は、GPをSSAの学習に用いることに関しては懐疑的であり、次のように批判した [Brooks91]。

- (1) ロボットのシミュレーションと実際の世界でのロボットとは全く違うものである(もともとBrooksはロボットのシミュレーションに否定的であり、接地問題や身体性という概念を主張する)。
- (2) 可能なプログラムの探索空間の構造はプログラムに用いられる表現に極めて依存し、慎重な設計が必要である。
- (3) 自然における進化では、物理的実体の構造とそれらを制御する神経系の共進化によって探索空間のサイズが減少する。同様のからくりがロボットのプログラムの進化にもうまくいくだろうか？

これに対して、Kozaは実際に壁に沿う行動計画(wall-following problem)や箱を押しロボット(box-moving task)の適応学習をGPを用いて実現した [Koza 91]。そのことによりGPのシミュレーション上での有効性を示すことに成功した。ただし、この時点ではKozaの実験結果がBrooksの疑問に完全に答えられるところまで達していたとは言いがたい。その後ER(Evolutionary Robotics)と呼ばれる分野が確立することにより、進化論的アプローチというより高レベルの意味での解決がなされている [Iba 08]。なお、上で述べたようなロボット学習のデモは現在ではGPの入門として盛んに利用されている<sup>\*6</sup>。

#### 4. GPの内憂

当初のGPは外患だけでなく、内なる脅威にも悩まされていた。それはGAとの仲たがいである。すでに述べたように、GAとGPはもともと出自が異なり、思想的にも大きく違っている。GAの生みの親とされるJohn Hollandの業績や2-armed banditなどの定式化からもわかるように、GAでは最適化・効率化などの目標がはっきりとしている。日本ではOR(オペレーションズ・リサーチ)との関連も強く、かなり領域化と目的意識のはっきりした分野である。一方、GPでは何を目的とするかがはっきりしていない。ロボットを動かしたい、プログラムの自動生成をしたい、問題解決をしたい、など多様である。では

手法において統一感があるかと言えば、特に木構造やグラフ構造に限定されているわけでもない。数式やプロダクションルールなどを遺伝子とするGPもあるので、プログラムを扱うという定義も当てはまらない。「進化論的学習」という言い方もあるが、これだとGAやCS(クラシファイア・システム)などの分野との差が明瞭ではない。別に定義しなくていいではないか、AIをやりたいのだ、と言ってしまえばいい気もする。筆者のようなAIの研究者はこういうあいまいさをむしろ好むのだが<sup>\*7</sup>、それが気持ち悪いという雰囲気が初期のGAコミュニティにはあった。そこが問題であった。

Kozaの周辺と同じ興味を持つ人々がワークショップやAI関連の国際会議でGPの発表を細々としているうちはよかったが、やがてGPの研究が大きくなっていくにつれて、GAとの軋轢が発生していく。数年のうちに、欧米のGP研究者(GPersと呼ばれる)はGAなどの進化論的計算手法のなかの3分の1にのぼるようになっていった。日本でのGAとGPの比率を考えるとこの傾向は特異的である。例えば、1993年の夏にイリノイ大学で行われたICGA93では、GPのセッションが新たに二つ設けられ、GPのワークショップも開催された。GPのワークショップでは、100名にもものぼる研究者が夜の11時頃まで活発な討議を行った。こうしたGPの研究成果は、MIT Pressから“Advances in Genetic Programming”として出版された [Kinnear 94]。その後このシリーズは第4巻まで発行されている。なお、ICGA(International Conference on Genetic Algorithms)というのは、1985年から隔年で開催されたGAに関するもっとも権威のある国際会議である。ヨーロッパを中心に1990年から開催されたPPSN(Conference on Parallel Problem Solving from Nature)と10年近く双壁をなしていた。PPSNは現在も開催されている。

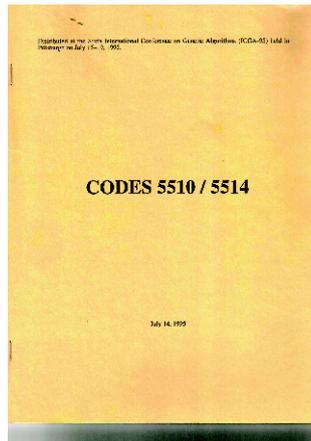
#### 5. オレンジ文書

そして1つの事件がおこった。1995年の7月15日から19日まで、アメリカ・Pittsburghのカーネギーメロン大学でICGA95(第六回)が行われていた。その中日のGPセッション会場の前に(70ページほどの)オレンジの冊子が積まれていた(以下ではオレンジ文書と呼ぶ)。そのタイトルは「CODE5510/5514」となっていた(図1)。誰かが配布したテクニカル・レポートだと思って何気なくその冊子を手にして非常に驚いた。その内容はKozaがGA研究者を提訴するという雰囲気のものであった。

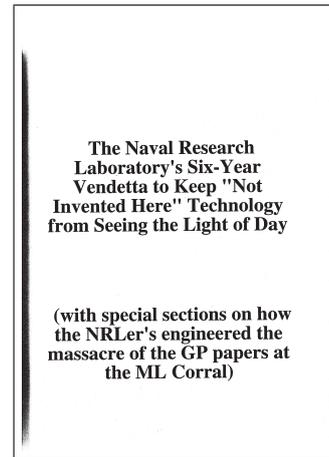
前兆はすでにあった。一週間前の1995年7月9日に、筆者らはカリフォルニアのレイク・タホでGPのワークショップを行っている。これはICML(International Conference

<sup>\*6</sup> 筆者のホームページでもいくつかのデモシミュレータが利用可能であるので、興味ある方はぜひ試してほしい。

<sup>\*7</sup> 「問題を定義するのがAI」という考えがある。問題が定義されてそれを解く段階になったらすでにAI(のトピック)ではなくなっている。



(a) 表紙



(b) 中表紙

図1 オレンジ文書

on Machine Learning) という機械学習の国際会議に併設された一日限りのワークショップである。ここで筆者は PC (Program committee) として Koza や他の 9 人とともに会議の運営を行っていたのだが、当日渡された会議事録 [Rosca 95] を見て奇妙なことに気がついた。なぜか PC メンバー紹介で Koza のところに footnote がついており、

Prof. John Koza has not been involved with reviewing or selecting papers for the workshop.

と書いてあった。さらに ICML95 では GP 関連の研究は 1 つもなかった。

ICML で GA/GP 関連の論文がないのは現在では当然のことに思われる。しかし、当時は ICML で扱われるトピックの 1 つであったので、これは不思議なことでもあった。その一方で、

Hill Climbing Beats Genetic Search on a Boolean Circuit Synthesis Problem of Koza's

という刺激的なタイトルの論文が発表されていた。おそらく意図的なのだろうが、このような攻撃的な題名は日本人には考えられない。

オレンジ文書には、上記の論文に対する反論、査読過程の不透明さ、PC の偏向などが精緻なデータとともに非常に詳しく書かれていた。ここでとくに問題となるのは、PC の偏向という点である。ICML の PC メンバーに GP に対する偏見をもつ者がいて、その結果 GPers の論文はことごとく不採録とされ、上の論文が採録されたと述べられている。"Massacre of the GP Papers"(GP 論文の大虐殺) というおどろおどろしい表現が中表紙にあった(図 1(b) 参照)。

オレンジ文書において指摘された偏向には以下のものがある。

- ML95 の GP/GA 論文の査読者は、ほとんど内容を読まずに同じようなコメントで不採録を連発した。
- Koza の GP の本 [Koza 92] の出版に際して、査読が

非常に遅くなり出版が 7 カ月遅れることとなった。

- 同じような偏った査読の傾向が Evolutionary Computation Journal や ICGA95 においても見られる。とくに ML95 における論文の採録・不採録に関して次の点を問題にしている。

- Lang による GP を "beat" する論文がなぜ採録されたか？
- GP 関連の論文が 100% 不採録となったのはなぜか？
- 過去 5 年間に於いて GP の論文が ICML の会議で 100% 不採録となったのはなぜか？
- GP が機械学習のテーマに関連しているにもかかわらず、論文に対する ICML の扱いが他の国際会議と一貫して大きく異なっているのはなぜか？

最後の点は、IJCAI や AAAI など AI におけるメジャーな国際会議で GP 論文が確実に採録されていることを言っているであろう。

オレンジ文書の示唆する元凶は、タイトルにもある CODE 5510 と CODE 5514 である。これはアメリカの NRL (Naval Research Lab.) の部署のことで、それぞれ Applied Research in AI と AI center を指している\*8。NRL は海軍と海兵隊の共同研究所で、海軍に関する基礎科学研究及び先端技術開発を目的としている。当時は多くの AI 研究を主導しており、とくにアメリカ国内での AI 関連の国際会議のスポンサーとしても中心的な存在であった。そのため、NRL が支援する多くの国際会議ではプログラム編成において NRL の意向が強く反映されている、というのがオレンジ文書の主張である。

Koza は 2 年間にわたる調査を行い文書をまとめている。その中には関係者とのメールのやりとりや、NRL に送った FOIA\*9 などの法的証拠が提出されていて説得力

\*8 Koza 自身も述べているようにこの人物を特定することが文書配布の目的ではない。そのため本稿でも人物名を伏せておくことにする

\*9 Freedom of Information Act (アメリカの情報公開法)。一部の例外を除いて、請求に応じてすべての政府情報を公開することを義務づけている。

がある。FOIA では NRL の CODE 5514 による

- 1993 年から 94 年に査読や評価にあたったすべての国際会議, 論文誌, 論文集のリスト
- 1989 年 1 月から 1992 年 1 月の間に, GP もしくは hierarchical GA に関するテクニカルペーパーについてのすべての査読および評価
- ICML93 の Paper166(Koza 自身のもの) の査読

についての情報の公開を求めていた。情報公開法の浸透で日本でもこのような例は珍しくなくなったが, 当時は少なからず驚愕したのを覚えている。

オレンジ文書には Koza のとったアクションも記されていた。それは学会の議長や論文誌の編集長に対して, PC メンバや査読担当者から CODE 5514/5510 で該当する人物の recusal(回避)<sup>\*10</sup>を求めるものであった。日本で翌年に開催されるはずの ICEC96 の議長へのメールも公開されていた。

文書配布後の学会は, 表向き嵐の前(中?)の静けさで淡々と進んでいった。CODE 5514/5510 として該当する人物の正当性に同意する署名文書や Koza のさらなる反論・批判のメモなどが配られはした。署名文書の中では,

We believe that genetic programming is an interesting and important genetic algorithm field, and have supported its inclusion in this and prior ICGAs.

という文言とともに, 十数名にもものぼる世界各国からの研究者の名前があった。

## 6. GP の 現 在

オレンジ文書は個人的な怒りの吐露と思われがちだが, 当時の多くの GPers の不満も代表していた。GA コミュニティの中で GP は少数ではなくなってきた(本家の GA を凌駕する賑わいを見せていた)。その一方で, 学会において正当な扱いを受けていないと感じる人々がいた。意図的かは不明だが, 学会のセッション数, PC メンバ数, 査読者における GPers の比率が極めて少なかったように思われる。筆者自身も, GPers でない(おそらく GA すらよく知らない)査読者に偏った査読をされた経験が何度もある。

とくにアメリカでは研究資金の競争が激しく, 論文審査への力の入れ方は日本の比ではない。その弊害として研究ねつ造事件も起こっており, Publish or Perish?(論文を書くか, 破滅するか?)と言われている[山崎 07]。オレンジ文書においても, 偏った査読のために大学院入学と奨学金獲得が困難になった学生の例が報告されていた。

一方で GPers の方でも反省すべき点がなかったわけではない。新しい分野では仕方ないかもしれないが, 他の領域とくに同じ興味を持つ人々への訴えが少なかった。論

文を書く上で必要な, 伝統的手法との比較方法, 問題の重要性・困難さの説明, 解法における定量的・定性的解析などの議論が十分ではなかった。オレンジ文書で問題とされた, 査読者のコメントには以下のようなものである。

- why use GP instead of some other method?
- the strenghts and limitations of GP are not discussed.
- comparisons were done with other forms of GP but not with other search methods.

このコメント自体は考慮すべき修正点である。ただしオレンジ文書で検証されているように, 査読者が論文を十分に読みもせずこれらのコメントをカット&ペーストして使いまわしているとしたら問題である。

その後の展開は迅速であった。Koza を中心とした GPers は ICGA とは別の国際会議を立ち上げた。1996 年 7 月 28 日から 31 日に第 1 回の GP96 (Genetic Programming 1998 Conference) が Stanford 大学で開催された。この頃にもまだ GP は日本で広まっていなかったためか, 日本からの出席・発表は筆者らのグループのみであったと記憶している。このときには 73 件の口頭発表(うち 38 件が long papers), 17 件のポスター発表, および 27 件の最新技術報告(late-breaking papers)があり, John Holland らによる招待講演がなされた。なおこの学会では Discussant が導入され(座長と異なる) Discussant があらかじめ発表論文を読み議論の口火を切ることでセッションの活性化を図るようにした(同じシステムは ECF 研究会などで採用されている)。

2 回目の GP97 も 1996 年 7 月に Stanford 大学で行われた。このときには大野乾氏の招待講演(タイトル: Our Genome as Giant Bureaucracy of Redundancy)がなされた。彼は遺伝子重複仮説で著名な生物学者であり, 遺伝子重複が進化で果す創造的役割の多くを解明し, 現代の分子, 細胞, 古生物学の研究に基づいた新しい証拠を考察している<sup>\*11</sup>。Koza 自身も構成変更オペレータ(architecture-altering operators)と呼ばれる遺伝子重複の遺伝子操作を GP に導入し, 進化の効果が加速されることを示した[Koza et al.99]。

さらに, 3 回目の GP98 は 1998 年 7 月 22 日から 25 日にアメリカの Wisconsin 大学(Madison)で開催され, 119 件の口頭発表, 13 件のポスター発表, および 53 件の最新技術報告(late-breaking papers)がなされるまでに成長した。

ICGA の方も, 1997 年 7 月に第 7 回国際会議がミシガン州の East Lansing で開催されている。そして, 実に ICGA との和解が 3 年ぶりになされることになった。そ

\*11 脊椎動物の祖先は陸上で生活するようになる前に魚類の段階で 2 回の 4 倍体化を経た, という大胆な仮説を大野乾は提唱した。この 4 倍体化は染色体による強固な性決定機構ができ上がる以前に起ったとされる。遺伝子が重複されると, その片方は必要ではないので新しい型に自由に突然変異を起こすことができる[木村 86, p.121]。大野氏は GP97 の当時には Beckman Research Institute の生物学研究部名誉部長であった。残念ながら 2000 年に亡くなられた。

\*10 法令用語で, 裁判官などが利害関係の存在等の理由で職務を回避することをいう。

の結果 1999 年から, GECCO(Genetic and Evolutionary Computation Conference) という国際会議に GP と ICGA は統合され, この会議は現在でも続いている。

GP についての論文誌も 2000 年に Springer から Genetic Programming and Evolvable Machines が発刊され, John Holland や John Koza が Advisory Board として名を連ねている。

こうして再編された EC コミュニティは ISGEC (International Society for Genetic and Evolutionary Computation) により民主的に運営されるようになった<sup>\*12</sup>。ISGEC は, 前述の 2 つの論文誌, Evolutionary Computation Journal と Genetic Programming and Evolvable Machines Journal (いずれも MIT Press) の管理も行っている。2005 年 1 月に ISGEC は AMC (Association for Computing Machinery) の SIG (Special Interest Group) として再構成され, SIGEVO (ACM Special Interest Group on Genetic and Evolutionary Computation) となった<sup>\*13</sup>。

また最近では GP 関連の国際会議やワークショップとして EuroGP, GPTP(Genetic Programming Theory and Practice), ASPGP(Asia-Pacific Workshop on Genetic Programming) などが行われており, 良い意味での棲み分けがなされている。

## 7. 教 訓

これまで GP の成り立ちとその後の数年間の混乱を時系列的に記述してきた。本節ではこれらに関して得られる教訓を筆者なりにまとめてみたいと思う。なお本節で述べる事柄は, GP のみではなく本学会で扱うトピック全般にかかわるものである。

### 7.1 査読の公平さ

Koza が問題にしたのは, 査読者が公平に査読しているかということであった。1 つの論文における査読者数が多ければ偏向の度合いも薄れると期待されるが, それにも限界がある。一般には, 査読者に先入観を持たせないため, 投稿に関して匿名性を義務付けることが望ましい。たとえばかつての GP や GECCO などの国際会議では, 著者名をブランクとしたり, 自分の過去の著作を削除するなどの策が取られていた。ただし完全に匿名化することは不可能であり, ある程度は査読者の良心を信用せざるを得ない。また点数制が採用されている国際会議もある。査読者が決められた持ち点を査読論文に配分し, 各論文で合計して点数の多い方から採録するというシステムである(もちろん査読者が持つ総得点は査読論文数に比例する)。これはある程度効果的だが, 論文数の増大には効果がなく平凡化の弊害もある。海外の論文誌では recusals のシステムを利用できる場合もあり, 投稿の際に

著者は査読者として選んでほしくない名前を前もって記入できる。もちろんこれを考慮して査読者を選ぶかは編集者の判断によるが, 利害関係の競合による査読の偏向をある程度は防ぐことができると思われる。

### 7.2 査読の遅れ

Koza の本の出版の際には査読遅れの問題が生じていた。もっとも 800 ページもある本を迅速に査読するのは, 限られた研究者のボランティアベースの作業では不可能に近い。意図的に査読を遅らせるのは論外であるが, できるだけ迅速な作業を奨励する措置は重要である。良い査読をした査読者を表彰する制度や, 査読者のリストを共有管理して査読業務を公平に分かち合うことも必要であろう。また, GP 海外の出版社からの Book proposal の査読では, 迅速に的確な査読を返送すればその出版社の本を進呈するという特典がある。最近では国内の論文誌の査読でも図書券の進呈がされることも多い。査読をすると次回自分がその論文誌に投稿する際に掲載料を割り引くという制度もある。これらは望ましいが財源も問題もあろう。また(自戒をこめて言うが)そうした特典がなければ査読しないという風潮も情けないような気がする。

### 7.3 論文のチェックをどうするか?

査読の偏向とは逆に, 論文の不正や不備を的確にチェックする体制もまた重要であり, そのためにも査読者(やその上部組織である編集委員会)の役割は非常に重い。Lang による「GP を "beat" する論文」が正しく査読されていれば, これほどの問題を引き起こさなかったかも知れない。真つ当な査読者や PC メンバーであれば少なくともタイトルと内容の修正を要請したはずである。この他にも論文の改ざんや盗用の問題は枚挙にいとまないほどになっている。

一方で, 論文の体裁だけを重視する傾向があるが, これに対しては非常に危惧を覚える。7.6 節の主張にも関連するが, 単に比較のデータ表やプロット図がありさえすれば良いと勘違いしている人が多い。もちろん必要ではあるが, 十分ではない。むしろ, その奥にあるべきオリジナリティや哲学的主張を原著論文には期待する。慧眼の査読者ならば, 比較データを検証する暇はないだろうが, こうした主張の深遠さを見抜くことは可能であろう。また研究者の本能として, そのような奥深い論文ならばたとえボランティアをしてでも査読したいのではないだろうか。そうでなければ, EC のコミュニティにおいてもソカールのような疑似論文事件が起こるかもしれない<sup>\*14</sup>。

\*12 <http://www.isgec.org/>

\*13 <http://www.sigevo.org/>

\*14 意味のない数学・科学用語を権威付けとして使用した社会科学論文を批判するために, ニューヨーク大学物理学教授(専門は統計力学, 場の量子論)だったアラン・ソカールは, 同じように科学用語と数式をちりばめた無意味な疑似哲学論文を作成

#### 7.4 秘密主義と特許

知財に関しては最近特に重要視されている。GP において Koza の特許が果たした役割は不透明である。しかしながら、ソフトウェアやアルゴリズムの研究において秘密主義や安易な特許は多くの場合弊害をもたらす、学問の発展のためにはできるだけ留保するのが望ましい。例えばカーマイカー法<sup>\*15</sup>がその一例である。ただし企業などとの外部資金による研究では一概にルールを決めることが難しいかもしれない。

一方で、EC や GP を用いて作成した成果物(進化の結果得られたデザインやパラメータ)はいくつか特許の対象になっている。Koza 自身も GP における Killer Application (GP でなくては解けない問題)として「その結果が過去において発明され特許となっているとき、特許化された発明以上の進歩であるとき、あるいは特許可能な新しい発明として今日認められるとき」という基準をあげている [Koza *et al.*00]。このような意味での特許は EC や GP の宣伝にもつながり、学界全体を活性化するので大いに奨励すべきであろう。実際 GECCO では、Koza の主張に基づいて Human-Competitive Competition (HUMIES) というコンペティション<sup>\*16</sup>が毎年行われている。

#### 7.5 クリティカルマスに気をつける

学会は大きければいいというものではない。どのような組織でも適切な大きさがある。これを超えるとさまざまな弊害が生じてくる(外部の支援組織ではなく)コアとなる部分はこのクリティカルマスを超えないように運営・組織する方がいい。ICGA と GP の一件ではクリティカルマスを超えていない段階であったので、比較的スムーズに問題が解消された。実際当時の ICGA や GP のメンバーは必ず毎年どこかで数回は顔を合わすことができたし、考えかたや主張をある程度お互いが知り尽くしていた。残念ながら、現在の国際的な EC コミュニティはすでにクリティカルマスを超えている。今後は国内のコミュニティでも組織管理・構成を適切に考えていく必要があるかもしれない。

#### 7.6 ヤッコーにどうこたえるか?

「ヤッコー」ということで初期の GP や AL の研究には多くの批判がなされた。もっともな批判であるが、「ヤッコー」もある程度は良いのではないのだろうか? それを受け入れられるような寛容さが、とくに研究の黎明期には必要である。

ただし「ヤッコー」論文においても、小手先の比較実験などは不要なので、アイデアやオリジナリティとして何かしら光るものがほしい。さらに言えば、「ヤッコーの何が悪い。これはヤッコー論文です」と自分から主張するような気概が必須である。

「何も考えなかった。私はただ実験したのです」という名言もある<sup>\*17</sup>。また、尊敬するある先生から「理論はあとからついてくる」と言われたことがある。整備しつつ着実な道を歩いて行くのもいいが、荒削りながら獣道を飛び越えていく面白さも確かにある。逆の意味で、「ヤッコウ<sup>\*18</sup>」論文のようなものもあるといい。AI や AL など、理論がその後の実験を先導するという研究分野もある。たとえばアインシュタインは創造的研究を完成させた後で、文献に目を通し、実験データを集めたとされている<sup>\*19</sup>。このアプローチは伝統的な科学的手法と対極にあるが、あたかも大進化のように研究領域の飛躍的発展を大胆な一歩がもたらすこともあるだろう。このような面白さを堪能させてくれるような興味深い論文の登場を期待する。

## 8. GP の未来

GPTP (Genetic Programming Theory and Practice) というワークショップが毎年ミシガン大学で5月に開催されている。基本的には invitation only の closed な会議であり、毎回20人程度が参加する。2010年のGPTP VIIIは5月20日から22日まで開催された。参加者は全員が発表を義務付けられ、あらかじめ全員で論文を査読する。発表時間は一人30分程度だがそのあとで1時間近く議論を行う。会議の内容は毎年 Springer から Genetic and Evolutionary Computation Series として出版されている [Rick *et al.*09]。

会議では個別の論文に関する議論以外にも、GP や EC の現状と将来についての幅広い視点からの意見交換がなされる。というのも、この会議には、産業界からの出席者(もちろん GPers)が必ず数人出席しており、アカデミック以外の意見を聞くことができるからである。実際、筆者は2006年にも参加しているが、このときにはアメリカの某金融会社の GPers が参加していた。このグループとの意見交換が契機となって現在も筆者は金融関連のトピックを扱っている。当時日本では GA や GP を用いた金融研究は実際の現場レベルで少なからず抵抗があったのに対して、欧米の研究の懐の深さがうらやましかっ

し、著名な論文誌に送ったところ掲載されてしまった。掲載と同時にでたらめな疑似論文であったことを発表し、学会は大きな影響を受けた [ソーカル00]。また最近では文脈自由文法を用いた「でたらめ論文作成ソフト」も存在しており、それによって作成された論文が国際会議で採録され発表までも行われて話題になった。詳細は <http://pdos.csail.mit.edu/scigen/> を参照。

\*15 線形計画問題を解く射影変換法のこと。これをめぐる特許と研究への弊害については [今野 95] に詳しく述べられている。

\*16 <http://www.sigevco.org/gecco-2010/competitions.html>

\*17 ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンが「X線を発見したとき何を考えたか?」と聞かれて答えた言葉。もちろんレントゲンの発見は偶然の賜物でなくたゆまぬ努力と経験に基づく。

\*18 「ヤッたらソウなります」という意味。

\*19 1906年の相対性理論に関する論文の序文には「考察中の疑問がここでは新たな視点から扱われているという事実から、きわめて面倒な文献調査はしないで済ませられると、わたしは信じた(中略)他の著者たちがこの間隙を埋めてくれるといいと思う」と書かれている [ウエスト 94]

たのを覚えている（もっともリーマンショック後は状況がかなり変わったらしい）。

こうしたGPTPで議論のをふまえて、GP（およびEC）の将来展望を以下に述べておく。

### 8.1 GP や EC は mature なのか？

GPTP2010 で盛んに議論された話題の1つのは、GP（やEC）はすでに成熟しているか、ということであった。異論もあると思うが、20年以上研究されているテーマであればすでに成人年齢に達しているはずだと思われる。成熟しているテーマでも研究トピックが枯れているというのではない。新しい領域へどんどん枝葉を伸ばして成長する時期にきているのではないだろうか？ もちろん根腐れとならないためにも、基礎をかためる研究をないがしろにしていけない。

### 8.2 如何にして社会に発信していくか？

成熟した分野の義務として、社会（とくに産業界）に発信していかななくてはならない。海外では、ECやGP研究のいくつかが実際に企業で主導されていたり、いくつかのベンチャー企業も存在する。これに対して、日本における歩みは非常に保守的である。この一因はアカデミックサイドや学会にもあるだろう。簡単に使えるツールの配布、講習会や勉強会などを通して十分に宣伝を行う必要がある。といってもこれは個人のボランティアではかなりの負担になる。こうした発信業務を学会内の有志で公平に分担するシステムが望ましい。

### 8.3 産業界との連携をどうするか？

学会と産業界のコラボレーションを円滑に行えるシステムを充実させるべきである。コラボレーションという共同研究・技術指導などのフォーマルな産学連携を思い浮かべがちであるが、これまでの経験ではこれはお互いにとって敷居がかなり高い。最初からこのようなハイレベルをめざすのではなく、前節でのべた勉強会などを通して興味を持つ企業の実務者との交流を図るのが良いであろう。また、お助け窓口やEC相談室<sup>\*20</sup>などを開設して、企業から問題を募りそれを有志で解く、あるいはコンサルタントとして指導するというのはどうだろうか？

研究者にとっても現場での実問題・実データを手に入れられるよい機会となる。うまくいけば共同研究につながる可能性もあり、また Killer Application になればECの宣伝にもなる。

### 8.4 EC 研究の楽しみ

いずれの学会でも同じような状況らしいが、残念ながら若い学生や若年の研究者の参加が年々減りつつある。

GECCO や CEC でも同様の問題が生じている。ECの研究自体がそうであるように、若い才が入ってこない集団ではいずれ進化が停滞する。若い人々をひきつけるような分野であり続ける必要がある。「夢を忘れない」ことが重要だろう。

幸いなことにECの分野は他の領域とのコラボレーションが盛んに行えるという特長がある。また多様性、共進化、共生といった人々を惹きつけるテーマを追求することのできる研究領域である。Melanie Mitchell は「ECの研究の楽しみの1つはいろいろな分野に手出しができることであり、その結果しばしば異なる専門分野の科学者との共同研究が可能になる」と述べている [Mitchell 98]。つまりECやGPが一般的な探索手法であると同様に、その研究者は万能選手であるべきで、自分自身の専門分野から抜け出してモデルや応用を追求するために新しいトピックを学習する必要がある。そのような姿勢を忘れないで研究を行っている限り、学会としてもまた研究者個人としても「夢を与え続ける」ことができると思われる。

## 9. おわりに

もともと本稿ではGPの技術的なサーベイや展望を述べるつもりであったが、まったく違う内容になってしまった。7月末に「Genetic Programming の現状と将来展望」という仮題で原稿を依頼され、あわてて古いGPの資料を漁っていたところ、たまたまオレンジ文書を見つけた。最近のGPのサーベイや展望についてはすでにいくつか執筆しており、同じことを本学会誌で書くのも能がない。そこで、「井の中の蛙」という人もいると思うが、GPの過去を振り返り、新しい学会のための教訓として執筆させていただいた。

最近ではGAやGP（の周辺分野）だけしか知らない研究者や学生が多くなってきている。また、AIやGA/GP/AL研究の創世期に比べて、独特な個性のある研究者が減っているように思う。それが物足りないというのではないが、新しい分野を立ち上げるときの混乱と興奮は経験してみないと分からない。本学会においても、このような心地よい緊張と興奮が持続して、健全なコミュニティの発展がなされることを期待する。

なお本稿の内容については原則として一次資料にあたって執筆しているが、部分的には筆者の備忘録や伝聞をもとにしている。そのため、筆者の記憶違いや思い込みもあるかもしれない。その場合訂正すべき部分を御指摘ください。できれば幸いである。

## 謝辞

本原稿をまとめるにあたり、資料収集に協力してくれた東京大学大学院・工学系研究科・伊庭研究室の丹治信君とクラウス・アラン八君に感謝します。

\*20 この「専門知識を社会に還元する」というアイディアは杉原厚吉先生の「幾何計算駆け込み寺」から拝借した [杉原 10, 13 章]

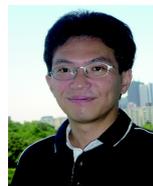
## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [和泉 02] 和泉潔: "人工市場の作り方: ヤッコと呼ばれないために", システム制御情報学会誌, vol.46, no.9, pp.547-554, 2002.
- [伊庭 90] 伊庭斉志: "情報の進化と創造的学習について", 人工知能学会基礎論研究会, SIG-F/H/K-9001-10, 1990.
- [伊庭 91a] 伊庭斉志: "構造的表現の適応的学習とその応用", 情報処理学会人工知能研究会, AI-76-2, 1991.
- [伊庭 91b] 伊庭斉志: "適応的学習に基づく知識の獲得と生成", 第5回人工知能学会全国大会, 1991.
- [伊庭 94] 伊庭斉志: "遺伝的アルゴリズムの基礎 GAの謎を解く", オーム社, 1994.
- [伊庭 96] 伊庭斉志: 遺伝的プログラミング, 東京電機大学出版, 1996.
- [ウェスト 94] トマス・G・ウェスト(著), 久志本克己(訳): "天才は学校がきらいだった", 講談社サイエンティフィック, 1994.
- [木村 86] 木村資生, 分子進化の中立, 紀伊國屋書店, 1986.
- [今野 95] 今野浩: "カーマーカー特許とソフトウェア 数学は特許になるか", 中公新書, 1995.
- [杉原 10] 杉原厚吉: "大学教授という仕事", 水曜社, 2010.
- [ソーカル 00] アラン・ソーカル, ジャン・ブリクモン(著), 田崎晴明, 大野克嗣, 堀茂樹(訳): "「知」の欺瞞 ポストモダン思想における科学の濫用", 岩波書店, 2000.
- [山崎 07] 山崎茂明: "パブリッシュ・オア・ペリッシュ", みすず書房, 2007.
- [Brooks86] Brooks, R.A. A robust layered control system for a mobile robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-2, April, pp.14-23, 1986.
- [Brooks87] Brooks, R.A. Autonomous mobile robot, In *AI in the 1980s and beyond*, Grimson, W.E.L.(Ed.), MIT Press, 1987. (邦訳: "自律移動ロボット", 伊庭斉志訳, "MITの人工知能", パーソナルメディア社, 1989)
- [Brooks91] Brooks, R.A. Artificial life and robots, In *Proc. of the First European Conference on Artificial Life (ECAL91)*, 1991.
- [Cramer 85] Cramer, N.L.: "A Representation for the Adaptive Generation of Simple Sequential Programs", *Proc. 1st ICGA*, 1985.
- [Fujiko 87] Fujiko, C. and Dickinson, J.: "Using genetic algorithms to generate LISP source code to solve the prisoner's dilemma", *Proc. 2nd ICGA*, 1987.
- [Iba 08] Iba, H. (ed.): "Frontiers in Evolutionary Robotics", ISBN 978-3-902613-19-6 I-Tech Education and Publishing, Vienna, Austria, 2008.
- [Kinnear 94] Kinnear, K.E. (ed.): "Advances in Genetic Programming", MIT Press, 1994.
- [Koza 90] Koza, J.: "Genetic programming: A paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems", Report No. STAN-CS-90-1314, Dept. of Computer Science, Stanford Univ., 1990.
- [Koza 91] Koza, J. Evolution of subsumption using genetic programming, In *Proc. of the First European Conference on Artificial Life (ECAL91)*, 1991.
- [Koza 92] Koza, J.: "Genetic Programming, On the Programming of Computers by means of Natural Selection", MIT Press, 1992.
- [Koza et al.00] Koza, J.R., Keane, M.A., Yu, J., Forrest, H.III., and Mydlowec, W., Automatic Creation of Human-Competitive Programs and Controllers by means of Genetic Programming, *Genetic Programming and Evolvable Machines*, vol.1, no.1-2, pp.121-164, 2000.
- [Koza et al.99] Koza, J.R., Andre, D.A., Bennett III, F.H., and Keane, M.A., Genetic Programming III, Automatic Programming and Automatic Circuit Synthesis, Morgan Kaufmann, 1999.
- [Laird 88] Laird, P.D., Learning from Good and Bad Data, Springer, 1988. (邦訳: "例からの学習 計算論的学習理論", 横森貴訳, オーム社, 1992)
- [Lang 95] Lang, K.J.: "Hill Climbing Beats Genetic Search on a Boolean Circuit Synthesis Problem of Koza's", *Proc. 12th ICML*, 1995.
- [Michalski et al.84] Michalski, R.S., Carbonell, J.G., Mitchell, T.M. (eds.): "Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach", Springer Verlag, 1984.
- [Mitchell 98] Mitchell, M., An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, 1998. (邦訳: "遺伝的アルゴリズムの方法", 伊庭斉志監訳, 東京電機大学出版, 1997)
- [Rick et al.09] Riolo, R., O'Reilly, U.-M., McConaghy, T. (eds.): Genetic Programming Theory and Practice VII, Springer, 2010.
- [Rosca 95] Rosca, J. (ed.): Proc. of the Workshop on Genetic Programming: From Theory to Real-World Applications, held in conjunction with The 12th International Conference on Machine Learning Tahoe City, California July 9, 1995.

〔担当委員: 小林 重信〕

2010年9月4日 受理

## —— 著 者 紹 介 ——



伊庭 斉志(一般会員)

1990年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。工学博士。同年電子技術総合研究所入所。1998年から東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻助教授。1999年から東京大学大学院新領域創成科学研究科基礎情報学専攻助教授。2004年から同教授。2008年から東京大学大学院工学系科学研究科電気系工学専攻教授。進化システム及び人工知能基礎の研究に従事。