Evolutionary Theory for
CONSTRAINED & DIRECTIONAL DIVERSITIES
Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas
Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 8 (2019)

新学術領域研究

進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～

第2回若手企画ワークショップ「進化と揺らぎについて再考する」
開催報告

表紙：若手企画ワークショップ「進化と揺らぎについて再考する」におけるグループディスカッション
（写真: 深津武馬）

目次

若手ワークショップ開催概要		1
若手ワークショップ開催報告	上坂 将弘	2
若手ワークショップの企画をやってみての個人的な感想	芝井 厚	4
若手ワークショップ参加者レポート	安藤 俊哉	5
第 2 回 若手ワークショップに参加して	細田 一史	7
新学術若手ワークショップ 参加記	畠山 哲央	9
若手ワークショップ参加記	佐伯 望	11
理論情報交換会＆若手ワークショップ 参加記	田中 祥貴	13
情報交換会・若手ワークショップ 参加レポート	野尻 太郎	15
若手ワークショップに参加して	廣田 敏	16
連載エッセイ(18)『死の島』随想	倉谷 滋	17

若手ワークショップにおける討議の様子

新学術領域研究「進化の制約と方向性」
第 2 回若手企画ワークショップ 「進化と揺らぎについて再考する」
開催概要

日時:2019 年 12 月 22 日(日) 14:25 ～ 15:40
会場:岡崎コンファレンスセンター(愛知県岡崎市) 中会議室
http://www.orion.ac.jp/occ/

世話人:上坂将弘 (理化学研究所) 、内田唯(東京大学)、北沢美帆(大阪大学)、香曽我部隆裕(理化学研究所)、芝井厚(理化学研究所)、守野孔明(筑波大学)

14:25-14:35 イントロ(上坂)
14:35-14:55 参加者によるグループ討論 1
14:55-15:15 参加者によるグループ討論 2
15:15-15:40 総合討論

総合討論におけるグループ発表

若手ワークショップ開催報告

上坂　将弘（理化学研究所）

2019 年 12 月 22 日、愛知県岡崎市にある岡崎コンファレンスセンターにて若手ワークショップを開催いたしました。企画者は、上坂将弘、内田唯、北沢美帆、香曽我部隆裕、芝井厚、守野孔明（五十音順）の6名です。

2018 年に行われた若手ワークショップでは、発生拘束に纏わる種々の概念について話し合い、非常に熱を帯びた内容になりました。発生拘束はもちろん本領域の重要な概念ですが、他にも欠かすことのできないものがあります。その一つが、今回のワークショップのテーマである「表現型の揺らぎ」です。新学術領域の 3 年目に当たり、今一度この「揺らぎ」について深く議論することが、今回のワークショップの目的です。

表現型の揺らぎと進化の方向性の関係は、まだまだ議論し尽くされていないように感じます。表現型の揺らぎが進化学の新しい理解につながることについては、領域内で大枠ではコンセンサスが取れているようですが、その一方で、研究者ごとに揺らぎの捉え方が微妙に異なっているようにも感じます。そのため、領域会議で行われた「表現型の揺らぎ」についての各班の研究を議論だけでなく、逆にそれらの研究内容を元に「揺らぎ」を皆で議論することが重要だろうと考えました。

今回、若手ワークショップの企画者で設定した議論のテーマは、
・揺らぎと進化の方向性の相関の普遍性（生物・表現型）について
・揺らぎと進化の方向性をつなぐメカニズムについて
・表現型の進化が揺らぎと相関しうる進化的時間スケールについて
・表現型揺らぎの測定の難しさについて
そして、少々変わったテーマとして
・進化分野で次の「新学術領域」を立ち上げるなら？
を設定しました。

世話人（上坂）によるイントロ、概要の説明

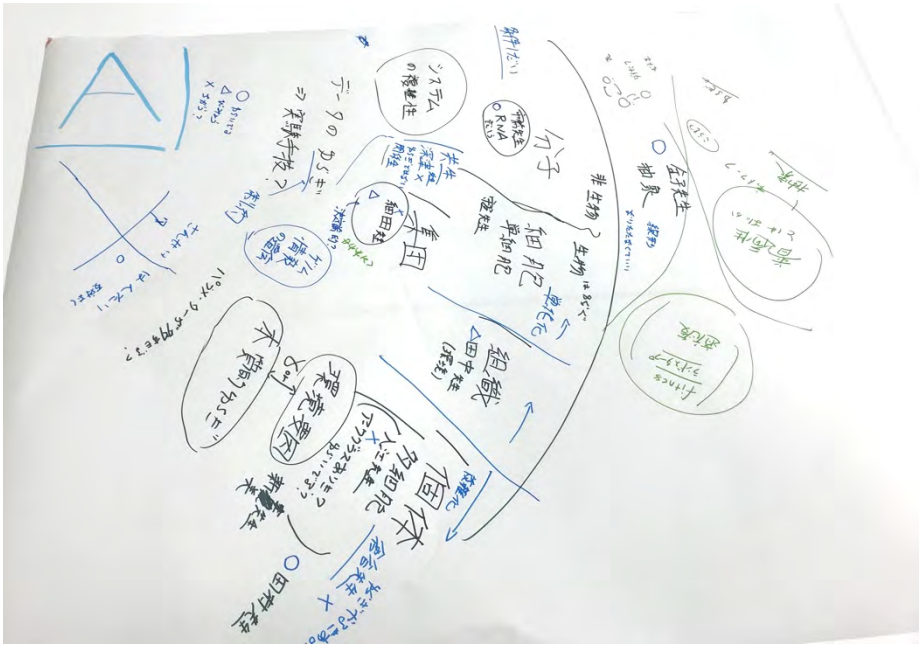
今回の議論において、参加者間で忌憚のない意見を活発に交わせるよう、ワールドカフェと呼ばれるグループディスカッションスタイルを採用しました。7 人程度のグループに分かれ、20 分間 x2

ラウンドで各テーマについて議論し、その後、各テーマの議論内容を総括し、会場全体で総合討論を行いました。

グループ討論（左）と総合討論（右）

内容の詳細については、他の方々の報告書に譲りますが、ワークショップ全体の印象としては、設定されたテーマの抽象度の高さにも関わらず、活発な議論が繰り広げられました。特に、どのテーマにおいても表現型揺らぎと進化の方向性の関係を調べる上での、問題点や今後の課題など、これから取り組まなければいけない対象についての議論が多かったです。グループディスカッションのあとの総合討論では、本領域の課題に加え、さらに次の研究領域についても激論が交わされました。今回行われた議論が、本領域だけでなく、より広い学問の発展に少しでも資することがあれば幸いです。

最後に、本ワークショップの基礎生物学研究所における開催にあたり、本新学術領域関係者を始めとした様々な方に大変お世話になりました。改めて感謝申し上げます。



トピック「揺らぎと進化の方向性の相関の普遍性について」の議事録

若手ワークショップの企画をやってみての個人的な感想

芝井 厚（理研 BDR）

新学術若手ワークショップ（令和元年 12 月 22 日）の世話人の一人として、その準備、実施、事後アンケートなどに携わった。第 6 回領域会議を中心とした一連の 3 日間の催しの最後であったため、使える時間が予定より短くなるなどしたが、上坂さんを中心とした世話人の方々（私はあんまり）の手腕と参加者の皆さまのご協力により、現在の課題から領域の今後まで活発に議論できて良い催しとなったと思う。上記の方々、見守っておられた方々、そしてホストである基生研の皆様に、厚く御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

そもそも、若手企画の世話人のはしっこに置いてもらってはいるが、”発生”や”形態”は細菌研究者である私にとっては自信をもって専門外であると言える。というより、自分が扱うには複雑すぎるからと、あえて遠慮した憧憬の対象でもある。なので、若手企画の準備でスカイプ会議などしているときはその議論に感心しつつ、大人の集まりにこっそり顔を出している子どものような軽い背徳感もあったりする。まあとにかく企画内容についてはキーボードで言うと皆さんが文字キーや Enter であり私が CapsLock くらいの貢献度だと思っていただけるとたぶんわかりやすい。

ではなぜ世話人に入っているのかと言われればひとえに組織の多様性の確保のためで、今回これを書くのを担当するに至ったのもまた多様性を意識してのことである。そういえば前回の若手ワークショップで安岡さんから出た「概念的な難しい言葉に縛られずにデータをありのままに解釈すればいいのでは？」という疑問は本領域若手の組織としての多様性表出のハイライトであり、白熱した議論を呼んだが決着がつかず、続きは次回、となっていたはずだが今回の内容に入れるのを失念していた。私自身この問題は生きている間にどうにか決着を見てみたいので、次は企画に積極的にねじ込んでいきたいと思う。

扱う生物種や進化スケール、使う手法など参加者の背景は多様

最後に、なんだか親近感がわいたので CapsLock キーがなぜ存在するのかについて軽く調べてみた。その起源はタイプライターにまでさかのぼり、当時は Shift の長押しが機械的に重たく疲れたため、その代わりとして活躍したらしい。そして現在は、大文字での記述が基本である COBOL 言語を使うときくらいしか需要がないそう。つまりはキーボードの進化が COBOL によって拘束されていて、いずれ COBOL が姿を消せば CapsLock も喪失するのである。ふと思ったがこんなふうに、現象をあえて生物ではないミームの進化にいちいち置き換えて概念整理を議論すれば、生物種によるバイアスや先入観がなくフェアだし、案外に共通理解の構築への近道だったりするかもしれない。次の企画の一つに提案してみても楽しそうだが、まずは適当なお酒の席ででも試しておこうと思う。

若手ワークショップ参加者レポート

安藤　俊哉
（基礎生物学研究所）

本新学術領域の前期の公募班としての最後の班会議に参加し、班としての研究報告を終えた。今回の報告会では私は班代表の新美さんの依頼で成果報告の後半部分を担当した。報告の順番が最後であったため、一息ついたところで、班会議最後のイベントである若手ワークショップに参加する形となった。ここでは、若手ワークショップの参加レポートと、そこでの議題に関連して領域に2年間参加して感じてきたことについて述べようと思う。
若手ワークショップでは、初めにオーガナイザーの上坂さんよりワークショップの趣旨説明があり、領域内で不足しがちな議論の場を提供する旨が告げられた。6つのグループに分かれて以下の5つのテーマについてワールドカフェ形式（※）で議論が進められた。

A) 実際の生物で普遍的に揺らぎと進化の方向性/制約は相関するのか？
B) 「揺らぎ」と「進化への制約」をつなぐ機構
C) 今みている生物の揺らぎから、数千～数億年前の進化現象を説明できるのか
D) 実験誤差と揺らぎをどのように区別するか
E) 新・新学術

（※ワールドカフェ形式：グループに分かれて特定のトピックについて議論を3ラウンド行う議論形式．ラウンドごとに大半のメンバーを入れ替えてアイディアのリフレッシュを行いながら議論を進める.）

時間の関係上、2ラウンドのみの議論となってしまったが、議論した内容について各班が発表し合い総合討論を行い、生命現象の揺らぎと進化の方向性との関係性について議論を深めた。私自身は2ラウンドともD班に参加し、揺らぎを測定する上で困っていることを各人が述べた上で、生命現象の揺らぎを測定する上での問題点を議論した。

総合討論では、揺らぎと進化をつなぐ機構としての「遺伝的同化」（環境刺激に応じて表出する可塑的な表現型が、自然選択によって集団内に遺伝子的に固定（同化）すると、環境刺激なしに表現型が表出する現象）や、実験を進める上で入り込みうる測定誤差を極力排除し表現型の揺らぎを正確に捉える必要性などが指摘された。また、新たな学術領域として今後進めるべき進化研究の方向性として、カンブリア爆発の再現や生態系の人為構築を行い、その系を破壊することで生物進化を理解する研究の必要性について白熱した議論がなされた。

一方で、レポートを書くにあたり見せていただいた議事録（模造紙）を見ると、いくつかの班で共通して議論されていた議題に、「領域で着目すべき表現型の揺らぎとは何か」があった。同一種の同一遺伝的背景の生物・生体分子集団に観察される表現型の揺らぎが本領域で着目するべき現象であり、その大きさを異なる系統間で比較する。そして、「揺らぎが大きいほど、外力に対する系の反発力が大きい」という物理法則（揺らぎ応答理論）のアナロジーが、生物進化の方向性を規定する上でも成立するかを検証する、というのが本領域の主要課題の一つである。そのような共通の見解に領域参加者が至っていることが感じ取れた。

生物進化における揺らぎ応答理論（仮説）は、Fisherの自然選択の基本定理（ある生物体のある時点の適応度の増加率は、その時点での適応度の遺伝分散に等しい）と一見よく似ているが、領

域内では両者が明確に異なるものであることがしばしば指摘されてきた。すでに集団に存在する遺伝的多様性（遺伝分散）に裏打ちされる表現型のばらつきではなく、同一種の同一遺伝的背景の生物・生体分子集団が有する生命システムが生じる表現型の揺らぎの大きさによって進化の方向性が規定されるか、また、規定されるとするならば、その背景にある分子基盤・理論的基盤はどのようなものかを解明することが本領域では重要となるのだろう。

実験進化学研究であれば、大腸菌や生体分子種に遺伝的変異を導入し、生物進化における揺らぎ応答理論における「外力」に相当する薬剤選抜等の選択圧をかける。そして、選抜前と後の集団の表現型の揺らぎを測定することが仮説の検証と新たな理論構築に必要である。実験生物学を主体とする研究班では、独自の実験系と技術を駆使して、選択をかける前後の分子や生物の表現型のゆらぎの測定が実際に進められてきている。一方で、私達の班も含めた多細胞生物の進化研究を進める班にとっては、揺らぎ応答理論を検証する上で生命システムに加える「外力」としての選択圧は、自然選択に頼らざるを得ない場合がほとんどである。また、現存している種はすでに充分長い期間自然選択に晒されてきたはずであり、選抜前と選抜後の比較が原理的にできない（ほとんどの場合、選抜後に相当する？）のが理論検証の上で最大の問題点である気がしてならない。私は、班の協力者として領域に2年間参加する中で、なんとかこのハードルを越えられないかと考えるに至ったが、多細胞生物を扱う班員の方々も同じ考えを抱いているのではないだろうか。

実験室内での実験進化学研究が不可能である多細胞生物の場合、自然界における生物進化過程の遺伝的基盤を理解した上で、進化の途中段階をゲノム編集によって再現する。そして、それぞれの遺伝型において表現型の揺らぎを観測するというのが現実的な理論検証の選択肢の一つだろうと最近考えている。このような進化過程を多細胞生物の体内で再現する実験に近い研究が、つい最近、渡りをする蝶であるオオカバマダラが有する毒素耐性遺伝子の進化において報告された（Karageorgi et al., 2019, Nature, 574, 409-412）。検証を行ったのは、キイロショウジョウバエの相同遺伝子においてであるが、ナトリウムポンプのαサブユニット遺伝子が毒素耐性を獲得する上で必要な3つのアミノ酸変異の獲得過程の内、自然界で見られる変異導入順序と自然界で見られない変異導入順序の関係を、分子の生理機能の観点から推測することを可能にした。このような試みを進化研究の材料として着目する非モデル生物において実現するには、技術的なハードルをいくつも乗り越える必要がある。しかし、多細胞生物における理論検証に唯一差し込む光明であることは間違いないだろう。そのような方向での研究が領域内で積極的に進んでいくことを期待しつつ、残り3ヶ月、前期公募班としての役務を勤め上げようと思う。

第 2 回 若手ワークショップに参加して

細田 一史
（大阪大学 国際共創大学院学位プログラム推進機構 特任准教授）

2019 年 12 月 22 日、第6回領域会議の後に、第 2 回若手ワークショップに参加しました。その内容は、50 名程度の参加者を 5 名程度のテーブルにわけ、各テーブルにて指定された議題について話し合い、またテーブルメンバーを交換して議論を続け、最後に全体でまとめた議論する、というものでした。限られた時間を有意義に使う工夫を感じ、また運営も柔軟に行われていて、とても素晴らしいと思いました。実際に場は盛り上がっており、私自身も学ぶことと楽しむことの両方ができました。

私の視点からですが、まずは開催前の準備から感想を述べたいと思います。事前に、本領域の概念に関連してどのようなことに興味や疑問があるかなどのアンケートがありました。当日は、これが議題に反映されたと感じました。議題の選出はとても重要と思いますが、このような選び方は非常に良いと思いました。参加者の自由度があり、かつ領域の概念から外れないため、この時点で、すでに議論の内容が有意義になることはおよそ保証されていたと思います。私でも後から思えば良いとわかるモノですが、予めこのような準備のアイデアを出して実行できる点で、集団による有意義な活動をつくる能力の高さを感じ、感銘をうけました。一見して研究の推進と直接の関係がないように見えますが、こういったことが、例えば若手が新学術領域などをつくるとき、そしてつくったあとには、その研究の推進が大きく変わってくると思います。

また、上記のように各テーブルに分ける方式（ワールドカフェ）ですが、これは一般的には参加者の相互理解や、それにもとづく気づき、およびアイデアの創発などを目的としていると思います。今回は、領域会議の直後、かつ、短い時間ということで、おそらくこういったことに焦点を当てたワークショップにしたのだろうという意図を感じました。これも成功の理由になったと感じます。実際に、私もいろんな方々の理解が進み、また概念としての気づきがありました。そして、新しいアイデアの創出に参加できました。これらの具体例は以下に述べます。

私が最初に参加したテーブルでは、「ゆらぎ測定時の問題」（のような議題、記憶なので不正確）について話し合いました。もちろん私にも問題はありました。それは、測定時のバックグランドや、測定値の対数化や標準化に関するもので、これを伝えたところ、やはり同じようにデータ処理で問題を感じている方が、異なる分野でもいました。さらに、他の方から「形などに関してはそもそも定量化が難しく、もちろんなんでも数字にすることはできるが、何を適切とするかが難しい」、といったような問題が出て、これも複数の方が挙げられていました。私は発生時の形などを扱っていませんが、私があつかう人工生態系も、広い視野でみると空間パターンを持っており、この評価指標の場合も同じだと思いました。さらに、「実験者が異なるとその差が入ってしまうため揺らぎとしてのデータの扱いに困る」といった問題もありました。このような、いわゆる「現場の悩み」は、美しい研究発表を聞いていても出てきません。しかし、これらを突破できるか否かが、研究の成功を決めることも多いと思います。いずれも難しい問題ですが、突破策はありますし、多数の研究者で共有して考えることで、より良いモノにしていけると感じました。

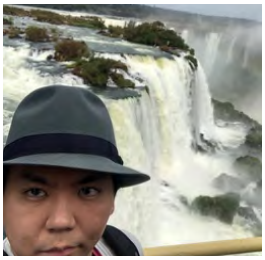
別のテーブルでは、「新しい新学術領域をつくるとしたらどういうテーマか？」（のような議題、記憶なので不正確）について話し合いました。前のグループの議論結果として「人工カンブリア爆発」というタイトルが残されており、これを見た瞬間に興奮しました。理由不要で興味をそそるタイト

ルと感じました。また、これがどういった気持ちで出てきたのかの説明を受けました。さらに、周囲のメンバーに、これに関してどのような興味の持ち方をするか、そして、そもそも今の研究は本音としてどういった興味にもとづいておこなっているのかなど、話を聞くことができました。その上で、「人工カンブリア爆発」を達成するには具体的にどのような戦略がよいのかについて話し合いました。私にとっては、この分野で議論することが稀ですので、皆様の知識や興味を知るだけでとても貴重かつ楽しかったですし、それにくわえて、一緒にその具体化へのアイデアを考える段階はさらに面白かったです。

最後には、各テーブルでの議論のまとめを代表者が発表し、テーブル間での議論がありました。やはり他のテーブルでもエキサイティングな議論がなされていたことがわかり、それに関するテーブル間議論も白熱したものでした。また、課題がどれも重要ですので、より議論を発展させると、より深い学びにも、より素晴らしいアイデアにもつながると感じました。このように、短い時間の中で、相互理解や気づきをあたえるだけでなく、このようなきっかけを与えるに至った本ワークショップは、大変素晴らしいものだと思いました。

最後になりますが、このように非常に素晴らしいものをご提供いただき誠にありがとうございました。また企画者たちは領域会議にもフル参加であり、その後でのワークショップ、かなり大変だったと思いますが、お疲れ様でございました。深く感謝申し上げます。

新学術若手ワークショップ 参加記



畠山 哲央
（東京大学）

本来ならばこの原稿はドイツのミュンヘンにて書かれるべきものであった。本来ならば、というのは、僕は今この原稿を池袋のパスポートセンターで書いているからである。当初の予定では、昨年の 12 月 31 日からミュンヘンの研究室に滞在し、そこで新年を迎えるはずであった。しかし、EU 圏への渡航に関しては滞在期間に関わらずパスポートの有効期限が 3 ヶ月必要であるというルールによって、僕の渡航は阻まれることとなった。なんと、パスポートの有効期限がわずか 1 日足りず、大晦日の成田空港のチェックインカウンターで出国できないという裁定がくだされたのだ。10 年間の有効期限のうち、たったの 1 日である。そして、年始のごった返すパスポートセンターで発行申請の順番を待ちながら、この原稿を書くに至ったのだ。

人生で初めてのパスポートを手に入れた 10 年前、僕はまだ大学院の修士課程に在籍していた。実は、本新学術領域で共同研究をおこなっている大林くんはその頃からの友人である。僕は今となっては理論物理を使って生物の研究をしているが、その頃は理論でも物理でもなく、分子生物学的手法を使ってシアノバクテリアの体内時計の実験をしていたのだ。そして、その結果をアメリカのフロリダで開催される国際学会で発表するためにパスポートをとったのだった。当時の僕は論文もまだ書いておらず、右も左もわかっていなかったが、自分は本当に面白い研究をできるのだろうかという焦燥感と、自分にはきっと素晴らしい研究ができるに違いないという根拠のない自信の間で、常に揺れ動いていたのをよく覚えている。

それからもう 10 年も経ったのだ。宮崎駿は映画『風立ちぬ』の中で、庵野秀明が演じる主人公の堀越二郎に対して、自らの分身のようなキャラクターに「創造的な人生の持ち時間は 10 年だ。設計家も芸術家も同じだ。君の 10 年を力を尽くして生きなさい」と語らせている。映画としての良し悪しはあえて議論しないが、劇場で映画を見終わった瞬間から今に至るまで、このセリフだけは折に触れ思い出される。僕にとっての創造的な 10 年とは果たしていつからいつまでなのだろうかと。焦燥感と根拠のない自信の間で揺れ動いていた 10 年前こそが、創造的な 10 年間の始まりだったのではないだろうかと。守るものも特にないのに、もう既に守りに入ってしまっていやしないかと。

そこで、昨年末の岡崎で領域会議と併催された若手ワークショップである。若手ワークショップでは参加者が 5、6 のグループに分かれ、それぞれ進化の拘束をもたらす原理や、進化・発生の揺らぎをどのように計測するかについて議論を重ねた。僕が参加したテーブルの議題は、新規に学術変革領域（旧新学術領域）を進化領域で立ち上げるとしたら、どのようなテーマが良いかというものであった。そこでの議論は、なぜカンブリア紀以降現在に至るまで新しいボディプランが出ていないのかといった領域の核心に迫るであろうものから、我が国の科学技術予算を巡る問題まで、非常に多岐に亘った。そして、議論の末に辿り着いたテーマは「人工カンブリア爆発」と「生態系をぶっ壊す」というものであった。

生態系をぶっ壊す

これは一見かなり過激なテーマに見える。実際に僕がこのテーマに関するプレゼンを行なった後、会場内では侃侃諤諤の意見が交わされた。でも、生物の冗長性も頑健性も拘束も掻い潜りながら「ぶっ壊す」方法を探るというのは、「生物はやっぱりよくできているなぁ」という呪いから僕たち

の認識を解放して、システムの一番クリティカルな性質を知るためはとてもいい手だと思うのだけどなぁ。何も今ある生態系をぶっ壊すわけではなく、一度生態系を作ってから壊すわけだし。

この学術変革領域が実際に採用されるかどうかはさておき、若手ワークショップでの議論は個人的にはもう楽しくてしょうがなかった。だって、今までの人生で「生態系をぶっ壊す」なんてほとんど考えたことなかったのだ。それが若手ワークショップのたったの 1 時間で議論できてしまうなんて。これは、ワークショップ自体の自由闊達に議論できる雰囲気はもちろん、その前に参加した領域会議で今まで知らなかった話をたくさん聞いた影響が大きかったのだと思う。この若手ワークショップでの議論は、僕に一つ自信をつけさせてくれた。つまり、新しいものに触れ続ける限り、これからも僕はもっと創造的でいられるし、最も創造的な 10 年はまだまだ始まったばかりか、あるいは始まってすらいないのだと。ひょっとしたら、会議の初日に大林くんを始めとする友人たちと、それこそ 10 年前のように、朝 5 時まで酒を飲み明かしたのも、少しだけ自信につながっているのかもしれないけれど。

さて、次の 10 年は僕にとって今までよりも創造的で刺激的なものになるに違いない。それならば僕は、今以上に力を尽くして面白い研究とは何かを追求して生きていかなければならないだろう。そして、堀越二郎にとっての零戦や、宮崎駿にとっての『となりのトトロ』をこの手で生み出さねばならない。ただ一つだけ 10 年後の僕に警告しておくならば、パスポートの期限には気をつけろということである。力を尽くして生きる創造的な 10 年の間、今いる場所から旅立つにはパスポートを切らしてはならないと頭に留めておけるかどうか、それだけが今から気がかりである。

若手ワークショップ参加記

佐伯　望
（岡山大学　環境生命科学研究科）

2019 年 12 月 20 日から 22 日の間、岡崎で開催された新学術領域「進化制約と方向性」の領域会議と、それに付随した意見交換会と若手ワークショップに参加した。ここでは、22 日の午後に行われた若手ワークショップに参加した感想を記す。

22 日の午後に、どことなく空気がこわばっていた領域会議が終わった。そのまま、指示に従って、隣の部屋に移動すると、2 つの机が向い合せ置かれ、その机の周りに 6 脚ほどの椅子が並べられていた。机の上には模造紙が広げられ、隅には A と大きな文字が書かれていた。文字の種類には A から E までの5種類があったらしく、この文字は同じ机を囲んだ参加者とのディスカッションの内容を示していた。今回のディスカッションには一定時間が経過すると、座席を移動しないといけないというルールがあった。

私の座った席は A だったので、「ゆらぎ応答理論の普遍性」が議題だった。「普遍性」を議論するという、深淵な議題で困ったぞと思った。いざ議論が始まったとき、私を含めて、同席の人も皆、何から議論を始めようかといった様子だった。とりあえず、今回の領域会議での、各班の発表内容を思い起こすことにした。本領域では、分子構造のゆらぎや、微生物、手や胚の発生、個体の形態から古生物学、生態系にいたるまで、様々な階層が研究対象になっている。「普遍性」があるということは、分子から生態系までの様々な階層に適応できるかということなのだろうという話になった。

次に、そもそも「ゆらぎ」とは何かとう話題になった。本領域では、各班が独自に様々な生命現象に「ゆらぎ」という言葉を当てはめたために、様々な「ゆらぎ」が存在しているという話になった。では、各班はどのような「ゆらぎ」を観察しようとしているのか、という議論になりかけた時に、入江先生が議論に参加された。それからの議論では、本筋と少し外れたように気もしたが、研究の立場を「ゆらぎ応答理論」で進化の説明ができることを立証するのではなく、「ゆらぎ応答理論」では、進化の説明ができないことを証明するという逆の立場についても話題に上った。あえて、真逆の立場で研究を遂行することも、議論を深めるにあたって有意義で面白く、新鮮に感じた。

その後、しばらくして、席替えが行われた。各机で数人は残るようにと言われたので、私はそのまま席に残ることにした。次の議論には重信先生が参加された。重信先生曰く、普遍性を議論するには、数学の一般化のようにもっと抽象化して議論しないといけないということで、議論はゆらぎ応答理論の基本となる力学系の話になった。私たちの机での議論は、「ゆらぎ応答理論の普遍性」を議論するには、自分たちの研究対象の生命現象が、どういったダイナミクスの上に成り立っているかを記号論的に記述する必要がある、という意見でまとまった。

その後、席ごとに議論の結果を発表と、発表に関する総合討論が行われて若手ワークショプが終了した。

今回の若手ワークショップや、領域会議を通じて、異なる背景知識の人とのディスカッションや発表を聞くことはとても刺激的だった。本領域の参加者には、階層も異なり、対象生物も新モデル生物から非モデル生物までを対象にされている方々も多くおられる。一方で私はモデル生物を用いた細胞レベルでの生命現象を対象に研究を行っている。そのため、対象が異なると、方法論や、

問題点についても大きく異なっていることが発表の内容から実感することができた。次に、同様のディスカッションを行う機会があれば、モデル生物と非モデル生物での方法論を共有することで、新しい生物学の方法論を生み出すことができるのではないかと感じた。次世代の生物学の方法論に関する具体的な内容は、言語化する自信がないので省略する。

「ゆらぎ」に関しては、言葉の定義じたいが曖昧だという厳しい指摘がいくつか存在するようで、少なくとも自分の中では、「ゆらぎ」についての定義を持とうと思った。ちなみに、Google 検索で「ゆらぎ」と検索すると、“ゆらぎとは、ある量の平均値からの変動をいう。”と Wikipedia の一文目が検索結果として出力される。これを、そのまま解釈すると、分散になると思うのだが、私の中での本領域における「ゆらぎ」は、研究対象の生命現象が、あるダイナミクスによって制御されているとき、そのダイナミクスの中で、生命現象が許容される範囲の大きさであるということにする。(この定義に意見があれば、是非とも優しくご指導していただきたい。) 私の場合、遺伝子のコピー数を決定するダイナミクスを常に意識して「ゆらぎ」の研究を遂行して行こうと考えている。

最後になりますが、とても貴重で有意義な機会を提供してくださった、領域会議、意見交換会および若手ワークショップを主催してくださった皆と会場などのお世話をしてくださった皆様に、心からの感謝とお礼を申し上げます。

理論情報交換会＆若手ワークショップ　参加記

田中　祥貴
（東北大学大学院　生命科学研究科　動物発生分野
田村研究室　修士課程2年）

魚のヒレの進化について研究をしている田中祥貴と申します。今回はこの場を借りて領域会議、特に理論情報交換会と若手ワークショップに焦点を当て、若輩者の感想および意見を述べさせていただきたいと思います。

1日目は理論情報交換会の名の下、Python/Jupyterを用いた画像データの次元圧縮と分類に関する講習を受けました。学んだことの中で特に印象的であったのがt-SNEとVAEでした。t-SNEはここのところsingle cell RNA-seqを行った論文において頻繁に目にする次元圧縮の手法でしたが、恥ずかしながら私はこの手法を“PCAのお友達”程度にしか認識していませんでした。与えられたサンプルデータとコードを用いると、自分のパソコン上でt-SNEによる解析結果が表示されました。ちょっとした達成感に浸るのも束の間、隣で同じく解析を行った後輩の結果を覗くと、出力されたクラスターの並びが自分のものと少し異なっているのに気がつきました。狼狽えながら自分のコードの写し間違えを探していると、古澤さんから「t-SNEによるクラスターの間の距離は試行ごとに変化する」のだと教えていただきました。これまでsingle cell RNA-seqの結果を見ながら「筋肉と血管を表すクラスター間の距離が近いから、たぶんこの2つの細胞の性質は近いのかもしれない」などと考えていた私の妄想が見事に打ち砕かれた瞬間でした。他者の研究を読み解く上で重要な学びとなったのがt-SNEでしたが、逆に自分の研究の新たな戦略となり得るのがVAEでした。私の理解が正しければ、VAEは他の次元圧縮とは異なり、解析結果におけるパラメーターに対応した“あり得るデータ”を生成することができる生成モデルと呼ばれる手法なのだそうです。この方法を用いれば、生き物の様々な形態のデータを入力から“あり得る形態”を導き出すことができます。魚類の胸ビレの多様な形態について研究している私にとって、これは非常に魅力的な手法でした。問題点として浮かぶのは入力するデータの質と量ですが、例えば魚類の胸ビレであれば現存の種の胸ビレに加え、胸ビレから進化したとされる手や化石種に見られる胸ビレ、さらには変異により少し形の違いが生じた胸ビレをデータに加えることで“あり得る胸ビレ”、つまり進化の1つの到達点としてはあり得るが実在はしていない胸ビレを予測できるのかもしれません。これ以外にも複数の手法を教わることで、これからできるかもしれない研究、および解析手法の弱点・注意点を知ることができ、私にとって非常に価値のある講習会でした。

最終日の若手ワークショップにおいて感じたのは、未だに領域内において“ゆらぎ”の定義がゆらいでいるのではないかということでした。私は“ゆらぎと進化の間を繋ぐメカニズム”について議論を行いました。最初のセッションでは、多細胞生物を扱っている研究者が多く、それゆえ“ゆらぎ”の定義が「環境などの外因的な刺激により、同一な遺伝情報をもつ生物が形態の変化を生じること」であるかのような議論に偏っていました。それに対し、同一のテーマにおける2回目のテーマでは、単細胞生物を扱う者の視点として「環境などの外因的な刺激がなくとも、同一な遺伝情報をもつ生物が形態の変化を生じること」という“ゆらぎ”の定義が提案され、そこから議論を進めることができました。この2つの議論の流れを受け、私は“ゆらぎ”という言葉の定義がこの領域内で固まっていなければ、“ゆらぎと進化の間を繋ぐメカニズム”のような“ゆらぎ”の定義の先にある議論を行うのが難しいと感じました。若輩者の1つの案ではありますが、例えば力学系におけるリミットサイクルや分岐のような数理的概念（詳しくはストロガッツ『非線形ダイナミクスとカオス』などを参照）を概念装置として導入できたらよいのではないかと思いました。このような概念装置を導入できれば、

「何をパラメーター（個体ごとのゲノム・遺伝子発現・環境ストレスなど）としたときの、何（遺伝子発現・形態の違いなど）のゆらぎなのか？」などが議論しやすくなるのではないかと考えたためです。私も含め、実験生物学者のように過去の実験による具体的な事象で議論するのも大事ですが、それと同じくらい皆の頭の中の定義を整備も進められるとこれからの議論がより有意義なものになるかもしれないと感じました。

ワークショップもそろそろ大詰めというところで出た、「次の新領域のテーマは？」に対する“人工カンブリア爆発”という案が私の個人的な興味に沿っていて非常に印象的でした。というのも、この領域には進化のメカニズムの解明にとどまらず、自分たちの手で進化を引き起こすにはどうしたらいいかを模索している同志となるような人たちが年齢差を問わずいることを実感させてくれたからです。私はカンブリア爆発で現れたとされる動物のボディプランを興味の根底に置いて研究していますが、この“ボディプラン”という抽象的な概念を、私は自分が死ぬまでに抽象的なままであってほしいとは思っていません。実を言うと私はこの案が出る経緯を全く把握していないのですが、このような案一つで自分の究極的な研究目的を再認識できた若造がいたことをここで伝えておきたいです。

少し長くなってしまいましたが、以上が私の感想となります。プラトンに対するアリストテレスの如く、先人の考えから刺激を受けつつも確固たる自分の主張を持ち、領域会議内外問わず多数の議論を重ねて謎の解明に至れるよう、私も精進していきたいと思います。

情報交換会・若手ワークショップ 参加レポート

野尻 太郎
(小薮公募班・
東京大学 大学院農学生命科学研究科 博士課程1年)

2019 年 12 月 20 日から 22 日にかけて，基礎生物学研究所で行われた理論情報交換会及び若手ワークショップに参加した。本参加レポートでは本会での交流を通じて感じた意見等を記そうと思う。

今回の理論情報交換会は昨年度に引き続き二年目の参加であった。相変わらず岡崎は良い街で，快適なひとときを過ごすことができた。まず 12 月 20 日に到着後，Python を用いたハンズオンセミナーへ参加した。とくに t-SNE (t-distributed Stochastic Neighbor Embedding)のレクチャーでは，元のデータの点間の類似度を保ったまま高次元➡️低次元へと落とし込むことができるという点で PCA の不利点をカバーしており，新たなクラスタリング手法の可能性を感じた。筆者自身コウモリの形態形成をテーマにμCT による三次元形態測定を用いて研究を進めており，今後の形態解析に生かすことができればと思う。今回のセミナーでも講師の古澤先生や TA の方々による熱意ある御指導により，昨年の進化シミュレーションセミナー同様充実した内容となっていた。

12 月 21 日-22 日には領域会議が行われ，各研究班の先生方による研究発表が行われた。同 21 日晩の交流会では筆者自身もポスター参加をさせて頂いたが，同実験発生学の先生方からの意見を頂くことができたことが大変良い勉強となった。とくに筆者の扱うコウモリはまず実験発生学で扱うことのない非モデル動物であり，仮に筆者が掲げる仮説を実験発生学的に検証しようと試みた場合にどうすればよいかディスカッションができたのも大きな前進である。コウモリのモデル動物化計画（野望）が叶う日も近い。領域会議，交流会でのポスターセッションともに充実した時間であったが，宿泊するロッジでの二次会でも先生方や同年代の院生の方々と交流することができ，大変濃い時間を過ごすことができた。交流会で振舞われた残りのケーキとナンが非常に美味しくひたすら食べていたのを覚えている。

最終日の 12 月 22 日には若手ワークショップが開かれ，異なるテーマについてグループ毎にディスカッションするという時間が設けられた。とくに白熱したテーマが「次に新学術領域研究を始めるなら何を題材にしたいか」というものであった。議論の中で「生態系を理解するためには生態系を破壊する方法を知ることが重要である」「キーストーン種のように 1 点を崩せば生態系を構成する他の多くの生物種へ影響を与え得る種を除去することで効率的に滅ぼすことができるのでは」という何とも悪の秘密結社染みたディスカッションが繰り広げられたときは参加するシンポジウムを間違えたかと思ったが、これも幅広い分野の研究者が結集する領域ならではだと感じ、私も怪獣になったつもりで破壊の方法を真剣に考えていた。

最後に、本参加レポートを記す機会を与えて頂き有難う御座いました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。今回交わした議論や頂いた御批判を研究へ活かし、今後の研究活動をより有意義なものにしていきたいと思います。

若手ワークショップに参加して

廣田 敏
（東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻
産業技術総合研究所 深津研究室 博士課程1年）

年末に岡崎の基礎生物学研究所で行なわれた領域会議に参加しました。領域会議は毎度楽しみで、RNA の分子レベルからミクロコズムといった生態のレベル、さらには理論研究に至るまで多岐にわたる研究の話題はいつも視野を広げてくれる貴重な機会です。また今回はポスター発表も行なったのですが何人かの方が興味を持って聞きにきてくださり、様々なコメントをいただくことができました。

領域会議のプログラムがひと通り終わった後は若手ワークショップに参加しました。ワークショップの目的は表現型の揺らぎについてディスカッションしようということでしたが、普段私は昆虫における細菌の細胞内共生について揺らぎとはあまり縁のないテーマを研究しているため、また未来のことを空想するのは楽しそうだということで「進化分野において次の新学術領域のテーマは？」という机を選びました。いざディスカッションでは「人工カンブリア爆発」という印象深い言葉に象徴されるように、現在の新学術領域を省みてこれまでにないテーマをうみだそうと、ああだこうだと話しあったときは自然と熱がこもったものになり、充実した時間を過ごすことができました。

そのためか2つ目のテーマに移る前にはもうすっかり疲れ切って、残り時間はぼんやり過ごしてしまいました。頭の中では他のことを考えておりました。領域会議に来る途中で昆虫採集のため寄り道した時のことを思い出していたのです。探したのはクビアカモモブトホソカミキリというカミキリムシの一種で、他のカミキリムシとは異なり雌のみで繁殖、すなわち産雌性単為生殖をおこなう珍しい種類です。雌雄という性の存在が必須な制約を超えてどうしてクビアカモモブトホソカミキリのような単為生殖種が進化してきたのでしょうか。学部生の頃からの疑問ですが未だわかりません。しかし先に出てきた「人工カンブリア爆発」など実現すら危うそうな壮大なアイデアと比べれば、まだ挑むハードルは低いのかもしれないなという自信にもなったのでした。

最後に、この度は領域会議並びにワークショップにおいて有意義な時間を過ごすことができました。企画、交流していただいた皆様に深く感謝申し上げます。ありがとうございました。

『死の島』随想

「現世は夢、夜の夢こそまこと」 by 江戸川乱歩

倉谷　滋

私の書斎兼寝室には、アルノルト・ベックリーン（Arnold Böcklin）という 19 世紀末の画家が描いた『死の島- Toteninsel』の複製が架かっていたことがある（現在は居間に置いている）。それを購入したあと、探偵小説家、日影丈吉の書いたエッセーのなかに、江戸川乱歩が応接間にやはり『死の島』を飾っていたとの記述を見つけ、妙に腑に落ちた思いがした。

というのも、この『死の島』、ひたすら現実世界に背を向ける雰囲気を持っているのだ。そこに描かれている小さな孤島は、暗く凪いだ海中に佇んでいる。摂氏 25 度、湿度 70%。それはアドリア海に違いないと私は特別な理由もなく思い込んでいる。島自体が、アーチ型をなしたひとつの廃墟のような屋敷、あるいは古城であり、中央には幾本かの糸杉がそびえる。それは欧州の墓地によく見る樹木である。そこへ一艘のボートが白装束に身を包んだ人物を連れ、今しも着岸しようとしている。この人物は果たして、その題名が示唆するように、死ぬためにこの島へやってきたのだろうか。それとも……。

『死の島』に魅了された人は多く、アドルフ・ヒトラーもそれを熱心に探していた一人だったという。この島をモチーフに絵画を残した画家も多い。有名なところでは、Salvador Dali の『お告げの祈りの時刻のアルノルト・ベックリン作死の島の真景 - The true scene of 'The Island of the Dead' by Arnold Böcklin at the time of the angelis (1932)』。ここでは、その島がじっさい孤島ではなく、裏側で地続きとなっていることが暴露されている。島の詳細を再現したものには、Ferdinand Keller による『ベックリンの墓 - The tomb of Böcklin (1901-02)』がある。これが同じ島であることは明示されていないが、背景の糸杉や前景の波打ち際を見ると、やはり死の島の詳細を描いたものらしい。同じ画家による『死の島 - The isle of the dead』とよく似た風景である。

暗いイメージというなら、Böcklin を敬愛していた Max Klinger も、Böcklin の原画に基づいたいくつかの版画をものしており、その中にはやはり『死の島』も含まれる。これに霊感を得た Sergei Rachmaninov は 1909 年、同名の交響詩を作曲した。Böcklin よりも硬質で乾燥した印象の Klinger 版『死の島』がかの交響詩の原点にあることは確かにうなずける。見るものに不安をかき立ててやまない異様な作風で知られる Klinger もまた Böcklin 同様、どの潮流にも属さないユニークな芸術家であった。どうも私は、正統派から距離を置いた、このタイプの画家に惹かれるらしい。

『死の島』を素材として多用した画家なら、Fabrizio Clericiにとどめを刺す。『Ebbe（引き潮），1974』、『Doppeltes Schweigen（重複した沈黙），1974」、『Die Gegenwarten（現在），1974』、『Living Room, 1974」、『Böcklinsche Weiten（ベックリーンの広がり；同年製作同タイトルのもの２作あり），1974』、『Incipit（Here begins……. はじまり），1975』、『Lo studio di Dresda I, II（ドレスデンのアトリエI, II），1979』などがある。そこに描かれた島は多くの場合、Böcklin が1886 年に描いたバージョンのそれである。Kellerの作品が島の内幕とするなら､Clericiのそれは意味の「ずらし」を伴ったメタレベル的借用とでもいえよう。自室から島を写生しているアトリエであるとか、干上がった海のなかから宇宙船のように浮遊する複数の『死の島』が幻視されている。Gustav René Hocke が愛して止まなかったというこのマニエリスム画家の作品が私は気になり、一時、毎晩のように画集を眺めていた。

挙げてゆくときりがないほど､『死の島』は格好の素材として多くの画家に取り上げられた。それだけの何かをもっているのだろう。私も同様、この絵に出会ったとき大脳視覚野のニューロンが金縛りにあったように惹きつけられたが、そのときからしていわゆる「死」にまつわる悲壮で冷たいイメージを抱くことはなかった。同タイトルの連作が他にもいくつかあるが､私が気に入っているのは1880 年作製のもの。どうにもそこに描かれた人物は余命短いというより、むしろ世を捨てる意を決したように見えてならない。調べてみると、たしかに『死の島』はのちに何処かの画商があとになってつけたタイトルであるらしく、Böcklin本人は最初それを『静かな処』、もしくは『静かな島』と呼び、のちに『墓の島』と呼ぶようになったらしい。さらに、この連作はそもそもフランクフルト在住のある婦人の依頼を受けて制作されたもので、それは彼女の「夢想のため」なのであった。Rachmaninovの交響詩は、むしろ作品に対して二次的に加味された「死」のイメージに大きく引きずられ、この作曲家自身、Böcklin のオリジナルをそのとき見ていたわけでもないようなのだ。

ならば、私がそれを「隠遁と安らぎの場所」として理解したのもあながち的外れではあるまい。「現世は夢、夜の夢こそまこと」というのは乱歩のモットーであったが､それはまた、世間の常識から背を向けることでもある。おそらく、島の岩に穿たれた廃墟の内部は外から見える印象より広く、事実上それは、この人物が生涯渡って蒐集､執筆した書籍､楽譜､絵画、博物標本等を納めた、私的図書館兼博物館兼音楽堂兼アトリエとでもいうべきもので、壁という壁は窓を残して大きな書棚とキャビネットで埋め尽くされ、部屋の中央には大きな机がひとつあり、そこで彼は人生最後の創作活動を行うのであろう。それはさながら、製図家 Joseph Michael Gandy 描くところの John Soane 卿のアトリエのよう（たしかにClerici のタッチや構図は Gandy のそれに似る)。そして、この廃墟の小窓のいくつかは、中二階にしつらえられた小さな書斎兼寝室に開き、ここに棲む住人はそこから時折、海によって隔てられた数マイル先の町並みを、景色の一部として眺める。この島の主人公はこれから誰にも邪魔されず、おのが人生の意味をここで完成させるのである。ただ、そのように私が個人的に夢想しているだけのことなのだが……。

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 8

発　行：2020 年 1 月 14 日

発行者：新学術領域研究「進化の制約と方向性～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～」（領域代表者　倉谷 滋）

編　集：Constrained & Directional Evolution Newsletter 編集委員会（編集責任者　深津 武馬）

領域 URL：http://constrained-evo.org/