

2

バイオインフォマティクス 研究者スキル

秋山 泰

(独)産業技術総合研究所
生命情報科学研究センター
akiyama-yutaka@aist.go.jp

生物学と情報科学の両方の基礎を持った人間を育てるにはどうすれば良いのだろうか。それぞれを中途半端に教えるよりも、初めにどちらかの基礎をしっかり教えるべきだとの論が多く見られる。初心者を教えた経験のある人にはそれはまさに実感だと思うが、しかしよく反省してみればそれは旧弊な教え方しかできない教育体制の問題ではないのか。それとも両学問のエッセンスを同時に修得することはそもそも困難なのだろうか。

本稿では、バイオインフォマティクスの研究者または技術者に求められる要件を述べ、なぜ我が国でバイオインフォマティクス技術者が不足し、その養成が難しいと言われているのかを考察する。また、我が国における人材養成の現状について、最近設置されている人材養成ユニットなどを紹介する。平成16年に開始されたバイオインフォマティクス技術者の認定制度も紹介する。

和魂洋才

バイオインフォマティクス(生命情報科学、生物情報工学)は、さまざまな生物学的な問題を計算論的な立場から扱う学問分野である。詳細は本特集の他の記事に委ねるが、扱われる範囲はとても広い。ゲノム上の遺伝子群の情報の構成、臓器や状況に応じた遺伝子発現パターン、合成されるタンパク質の立体構造と機能、その化学修飾や細胞内での寿命、細胞内のさまざまな制御ネットワーク、生物種間での相互比較や進化系統の推定、細胞分化や臓器特異性の機構、個人差の問題など、多岐にわたっている。いわゆる分子生物学と細胞生物学の範囲がテーマであるが、徐々に、臓器、個体、集団といったマクロレベルにも拡大していくことが容易に予想される。また逆にミクロレベルの学問(化学、薬学、ケモインフォマティクス、分子シミュレーション)との融合も急速に進んでいる。

バイオインフォマティクスの目的は、生命のメカニズムを理解し、対象が病原体であればその機能を止めたり、あるいは有用微生物や農作物であれば機能の改良を図ったりする研究を支援する点にある。つまり目的は、生命を理解する生物学であり、それを改変するバイオテクノロジーにはかならない。膨大な情報を電子的に整理し、次にどのような研究をすれば良いのかの道しるべを実験

家に与える、いわば「カーナビ」のような意思決定支援の使命を担っていると言える。語弊を恐れずに筆書の意見を述べれば、バイオインフォマティクスは「情報科学」の応用の1つではなく、新世紀の生物学のかたちそのものとして理解する方が正しい。

それではなぜ、情報処理学会で長年にわたり議論が続く、対応する研究会まで設置(バイオ情報学研究会、平成17年度新設)されようとしているのだろうか? それは生命そのものが、まさに「情報システム」として理解すべきものであり、その新世紀の生物学の技術要素は、情報科学の手法そのものであるからである。

しかしこのとき、生命のシステムがきわめて複雑であり、また途方もない数の生物種の多様性を持っている以上、この応用分野は情報科学から見て一筋縄ではいかない領域であることに十分な注意が必要である。たとえば電子回路のCAD、建築物の構造解析、自動車衝突のシミュレーション、携帯電話の電磁波シミュレーションなど、情報科学者がスイスイと参入した応用分野は枚挙にいとまがないし、情報科学はそれを領域の一部として貪欲に飲み込んできた。しかしバイオインフォマティクスでは、相手は生物学のほぼ全体である。取り組むのによほどの覚悟が必要であることを、本稿では繰り返し強調したい。

「和魂洋才」とは、明治維新という価値観の改革期にあって、我が国の精神的伝統を大切に守りながら、柔軟に西洋文明の方法論を取り入れようとした人々のスロー

ガンである。たぶんバイオインフォマティクスの現場においても、これと似た言葉が当てはまりそうだ。目的はバイオロジーであり、方法論だけが情報科学である。和魂洋才ならぬ、「バ魂情才」とでも言おうか？ 目的がバイオロジーであることを十分に認識していないと、少し情報科学が得意だというだけではほとんど歯が立たない。生物の仕組みに興味を持たない人間が(単独で)入門しようとしても次々と変わる要求仕様に戸惑うことだろう。ソフトウェアハウスが「儲かりそうだから」と参入したり、大学の研究室で「卒論生のテーマにでもちょっと」などといって参入しても、覚えねばならない膨大な知識に驚いて退散するというケースが後を絶たない。

変革期の現在にあつては、このくらいの覚悟が必要である。しかし、変革期が落ち着いてくれば、もう少し気楽に、そして効率的に人材を養成できなければならないはずである。生物学と情報科学の両学問のエッセンスを効率的に教えることはできないのだろうか。

バイオインフォマティクスで必要となるスキル項目

バイオインフォマティクスの研究者または技術者になるには、対象となる生物学領域の知識、アルゴリズム設計などにかかわる情報科学の素養、そしてプログラミング技術の習得が必要である。必要範囲は生物学の全体にまでは及ばないし、情報科学の全体にも及ばない。関係するところを効率良く学んでいく必要がある。

人材養成を客観的に行うためには、一般的に3つのことを設計する。まず第1に、「スキル項目」の抜き出しを行う。どのような技術要素が必要かを列挙したものである。第2に、初級・中級・上級などいくつかの段階に分けて、各段階で習得すべきレベルを具体的に定義する。これを「スキルスタンダード」と呼ぶ。初級や中級は定義できても、上級になると細かい得意職種に分かれてきてなかなか定義は難しい。そして第3に、半年なり通年の期間内でそれを学ぶための具体的なスケジュール作成、いわゆる「カリキュラム」の策定を行う。

これまでも、バイオインフォマティクス分野におけるスキルスタンダードやカリキュラムの作成は、さまざまところで行われてきた。たとえば、経済産業省の委託事業として策定されたスキルスタンダード集¹⁾がある。この委託事業は、以前に経済産業省がIT分野でのスキルスタンダード集を作成して好評を得たことにならって行われたものだが、やはり膨大な生物学と情報科学の範囲をどう教えるのかで、かなり苦勞した跡が伺える。この事業を引き継いで、アノテーター(バイオデータに

注釈付けを行う技術者)養成を中心にしたスキルスタンダード作成も平成16年度事業として実施されている²⁾。

筆者が薦めたいのは、日本バイオインフォマティクス学会が策定したカリキュラム案³⁾である。時間数を規定していないので「スキル項目」表に近いものだが、バイオインフォマティクスに必要とされる情報科学の体系をよく理解した人材が作った内容に思える。欧米で実施されているカリキュラムと比較しても、この内容ならばひけはとらない。

表-1に日本バイオインフォマティクス学会のカリキュラムのうち学部レベルの課目案を、表-2に大学院レベルの課目案を引用する(両者とも紙面の都合で表記の一部を改変した)。

進むべき方向はここに示されている。従来は、ゲノム配列解析だけとか、タンパク質構造だけを学んだ先輩研究者が細々と新人を教えてきたが、それでは互いに意思疎通もできない。「研究者の数だけバイオインフォマティクスの定義がある」などと揶揄されてきたわけである。膨大と思われるかもしれないが、この範囲をカバーすることは必須と考える。この分野で活躍している研究者は、独学などでこの範囲のほとんどを履修している。

進むべき方向は分かっても、これを実現するのは相当に大変なことである。

なによりも教える人間が揃えられないという声を聞く。生物学、情報科学、バイオインフォマティクス、とおおまかに言っても3種類の人材を揃える必要がある。組織間で協力しあって互いに講師を交換することが望ましいし、授業のビデオやe-Learning教材を作ってノウハウを可能な限り共有することも考えるべきであろう。

なぜ我が国で特に、バイオインフォマティクスの研究者が不足していると言われるのだろうか。実は世界のどこでも不足していて、中途半端な知識のままでバイオインフォマティクスの専門家だと自称するような人物が日本人には少ないだけかもしれない。しかし、やはり長年の筆者の観察によれば、バイオインフォマティクスという新しい学問分野を、既存の生物学の組織内に押さえ込もうとする旧弊な考え方、学科の内容が本音と建前で違って平然としている日本人の感性などのために、学際的な教育や研究をする場所の立ち上げが他国よりも遅れてしまった点是否めない。一度このような中途半端な体制ができてしまうと、何もなかったよりも悪い結果を生む場合がある。任用した人材はなかなか入れ替わらないし、期待して入学してきた学生は落胆してしまうからである。

このほかに我が国特有の問題としては、年齢主義の弊害があるのかもしれない。この分野のパイオニアはせいぜい50歳代に過ぎないから、大学内や学界における発言力と政治力は限定的であろう。そして住宅問題や教育

学部レベル (1~2年生)

- ・基礎数学 (解析学基礎, 線形代数)
- ・基礎数理統計学 (確率論, 推定, 検定, 多変量解析, 情報理論)
- ・基礎情報学 (離散数学, 数理論理学, 形式言語理論, 計算理論)
- ・情報処理入門 (アーキテクチャ, OS, ネットワーク, 言語, Web ほか)
- ・プログラミング演習
- ・一般物理学 (解析力学, 電磁気学, 統計熱力学)
- ・一般化学 (物理化学, 有機化学, 高分子化学)
- ・分子生物情報学 (生体分子, 細胞, 複製・転写・翻訳とその制御, タンパク質立体構造ほか)
- ・細胞生物情報学 (細胞構造, 輸送, 細胞骨格, 細胞周期, シグナル伝達ほか)
- ・生体システム情報学 (代謝系, 免疫系, 脳神経系, 発生分化, がん)
- ・バイオテクノロジー概論 (組換え DNA 技術, クローニング, 配列決定, DNA チップほか)
- ・バイオテクノロジー実習

学部レベル (3~4年生)

- ・数値解析論 (行列演算, 固有値, 数値微積分法, フーリエ変換, 最適化)
- ・バイオスタティクス (多変量解析, 連鎖解析, QTL 解析, 臨床治験統計, 疫学統計)
- ・アルゴリズム論 (データ構造, 検索, ソート, パターン照合, グラフ, 最適化, LP, DP, 計算量)
- ・人工知能論 (知識表現, 発見的探索, クラスタリング, 学習, 推論, ニューラルネット, HMM, SVM)
- ・データベース論 (データモデル, 正規化, RDB, SQL, 演繹データベース, バイオオントロジー)
- ・プログラミング言語論 (コンパイラ, 手続き型・関数型・オブジェクト指向・論理型言語)
- ・タンパク質物理化学 (アミノ酸の物理化学, フォールド分類, 構造決定とモデリング, 相互作用ほか)
- ・進化情報学 (生物分類学, 分子系統学, 集団遺伝学)
- ・システム生物学概論 (反応速度論, 代謝ネットワーク, 転写制御ネットワーク, 発生, 複雑系ほか)
- ・環境生物情報学 (数理生態学, 地球生物学, 宇宙生物学, 生命の起源)
- ・バイオインフォマティクスリテラシー (分子生物学 DB, 文献検索, 配列アライメントとホモロジー検索, 配列モチーフ検索と機能予測, 二次構造予測, 立体構造予測)
- ・バイオインフォマティクス実習 (応用プログラミングまたは既存プログラムの利用法)

表 - 1 日本バイオインフォマティクス学会によるカリキュラム案 (学部レベル)

大学院レベル

- ・バイオスタティクス特論 (MDL, AIC, ベイズ推定, ノンパラメトリック統計, ブートストラップ)
- ・配列解析アルゴリズム特論 (配列アライメント, マルチプルアライメント, データベースサーチアルゴリズム (BLAST, FASTA), RNA 二次構造予測, Gibbs サンプリング, 確率文法 (HMM, EM), 判別アルゴリズム (決定木, SVM, SOM))
- ・ゲノムデータ処理特論 (シーケンスデータ処理, アセンブリー, 遺伝子発見, 分子生物学データベース, ホモロジー検索, モチーフ検索)
- ・比較ゲノム学 (オーソログとパラログ, リアレンジメント, 水平移動, フィロジェネティックプロファイル, コドン使用頻度, 遺伝子アノテーション)
- ・分子進化特論 (置換の確率モデル, 進化系統樹, 最尤法・最節約法, 距離法, ブートストラップ)
- ・発現プロファイル解析特論 (マイクロアレイ, クラスタリング, ネットワーク推定の各手法)
- ・タンパク質構造解析特論 (エネルギーランドスケープ, 分子力学・分子動力学, 立体構造予測, 機能予測, フォルディングシミュレーション, 立体構造アライメント, 構造分類)
- ・計算化学特論 (量子化学計算, 構造活性相関 (QSAR), コンビケム, 創薬ターゲット探索)
- ・タンパク質ネットワーク解析特論 (2次元電気泳動, 質量分析, 相互作用解析技術, タンパク質間相互作用ネットワーク解析, タンパク質・低分子相互作用ネットワーク解析)
- ・生命知識システム論 (自然言語処理, オントロジー, 生命システム情報データベース, グラフ比較・特徴抽出, ネットワーク予測)
- ・パスウェイ工学概論 (代謝工学, シミュレーション, ベトリネット, 微分方程式, 制御システム)
- ・システム医科学 (SNP 解析, ハプロタイプ解析, マイクロアレイ解析, 薬剤応答, ゲノム情報診断システム, オーダーメイド医療システム)
- ・バイオインフォマティクス社会学 (ゲノム情報利用, ゲノムと文化, 知的所有権, バイオ倫理学)

表 - 2 日本バイオインフォマティクス学会によるカリキュラム案 (大学院レベル)

問題とも絡むが、家族を連れて国内を縦横無尽に引越しするような研究者がまだ少ない。これらが総合的に作用して欧米に比べて養成体制構築の遅れが見られたのではないかと想像される。

膨大なスキル項目を見て、多く返ってくる感想は「こんなに勉強しなくても、我々の分野のインフォマティクスはできる。今、膨大なデータが出てきて、その処理で困っているので、万能なインフォマティクス研究者など育てなくても、現場の情報処理だけでできれば良い」というものである。これは実験の現場からでてきた痛切な意見であるため無視はできないが、そのような近視眼的なことでは、結局は行き詰まってしまう。生命のシステムは複雑であり、その一部を集中して調べているつもりでも、他の解析結果を参照しなければならぬことが多いからである。必要となるアルゴリズムや手法もおおのずと変化することになり、素養のないバイオインフォマティクス研究者・技術者では貴重なデータを生かし切ることができなくなる。そもそも生物学を広く勉強しておかなければ、生物学者との議論についていくことすらできないのである。

我が国のバイオインフォマティクス黎明期に何が行われたかという点、「実験現場のお手伝い」という立場しか与えられずに近視眼的な情報処理を強いられた研究者が多かった（現在バイオインフォマティクスの教授や助教授をしている人間で、研究所内のイーサネット張りをさせられた経験者も多いと思う）。それでも立派に残ったタフな研究者もいたが、理論系の研究者は居場所を失って退散していった。本来は、実験現場に密着してどんどん成果を出す研究と、その道具や基礎理論をじっくり作る研究とが、さまざまな場所で同時に行われねばならなかったのに、他国と違い我が国では実験現場以外には就職の場がなかったのである。欧米では早くから設立された公的なバイオインフォマティクス研究所が、我が国においては設立されなかったという事実は、この分野の発展にとっては残念であった。

そしてまた、当時このような応用研究をなかなか認めなかった大学の情報学部にも責任の一端があることは認識しておく必要がある。状況は今でもあまり変わらないのかもしれない。バイオインフォマティクスの分野に新風を巻き起こした研究であっても、情報科学の価値観で評価したとき、果たしてその学生に学位が授与できるのかどうか。「情報科学としてどこが新しい方法論なのか？」と問われても、応用分野の立場としては困惑するしかない。真に役に立つことは、多くの場合、既存の方法論の組合せと、泥臭い努力によってしか生まれてこないからである。もちろん情報科学的に興味深い新手法が応用現場から生まれることもあるが、その確率は大き

なものとはいえない。情報科学がバイオインフォマティクスをその応用領域の1つとしてもし迎え入れるのなら、価値観の相違という点について十分な認識が求められるであろう。

教育カリキュラムに関して、少し強調しておきたいのは、情報科学側におけるプログラミング実習の重要さと、生物学側における実験の重要さである。これらは時間の関係で割愛されたり短縮されることもあるが、短時間でもよいので必ず両者を含むべきである。

プログラミングについては、perlやrubyなどのスクリプト言語が読めれば十分という説もあるが、やはりある程度の自律的なプログラミング能力がないと、後々困るケースが多い。データが日々更新される分野なので、すべての解析を自動化しておくことが鉄則なのだが、生物系の出身者などは、一度手動で解析をすると、それを繰り返せないというケースがある。これでは論文を1度書くことはできても継続的な解析業務の役には立たない。

生物学実験については、生物学研究者の苦労や考え方を知るといって最大の意味のほか、山ほどのjargon（専門的隠語、多くの場合は商品名や企業名に由来）に触れることで、専門家とのコミュニケーション上大変助かることが多い。

生物系出身者と情報系出身者

この分野で繰り返し問われてきた質問がある。「生物系出身者と、情報系出身者とで、どちらにバイオインフォマティクスを教えるほうが効率が良いのか？」というものである。

「生物系出身者のほうが伸びますね。生命のメカニズムを知りたいというモチベーションがありますから」などと答えると、生物系の先生方にはすこぶる受けが良い。実際はどうなのだろうか。確かに生物系出身者は、膨大な分子生物学の知識を常識として身につけており、教える側としては楽である。何よりも「調べたい欲求」を持っている点はとても良い。勉強はしたが何から調べたら良いのか分からないというのでは困るからである。

筆者の研究センターは平成13年に設立されたが、研究センター長の立場として最初に筆者がしたことは人材集めであった。その際、筆者と同じ情報系の出身者で固めずに、むしろ生物系出身のバイオインフォマティクス研究者を多く採るよう努力した。その成果は実際に現れてきていると思っている。実験生物学者と話していても、縦横無尽に話が行き来して、思いもかけないプロジェクト提案に結びついていくのである。

バイオインフォマティクスの研究グループを構成する

ならば、およそ2/3は分子生物学や生物物理学の出身者で固め、残りの1/3を情報科学、統計学、システム工学などの出身者で固めると良いと筆者は考えている。表現の仕方が難しいのだが、研究開発における戦いの主戦力は前者だと思う。生物学という場を知り尽くしていて、また実験研究者とも自由に会話できる能力が必須だからである。新しい問題を発見し、また既知の知識がどれだけあるかを調べるのも彼らは得意だ。しかし、研究開発に成功したいなら、戦いに勝ちたいならば、後者も絶対的に必要である。歩兵では破れない壁を、攻城砲を持ち出して一撃で崩すようなものである。精進を積んだプログラマと素人では、生産性は100倍も違ってくるし、木探索や組合せ最適化が多く登場するバイオインフォマティクスでは、アルゴリズムに関する素養がなければまさに桁違いの差が出るからである。昨今では並列計算機の利用も必須になりつつあり、これらを生物系出身の研究者だけでカバーするのは、筆者の経験に照らす限り、ほとんど無理である。外注プログラマを雇えば良いかという、そう簡単ではない。攻めるべき問題の本質を理解していなければ方針を立てられないので、どうしても情報科学に明るい研究者が研究グループの内部に一定数は必要なのである。

これを言うと怒られるかもしれないが、生物学を志す人間のタイプは、どういうわけか、優れた情報科学者に要求される人間のタイプとは異なっているケースが多いように思う。前述のように筆者は生物系出身者を尊敬し優遇してきたが、システム構築能力に関しては何度私が代わりにやろうと思ったことか分からない。今後しばらくの間は、上記のような混成部隊を作るという戦略をとるしかないだろう。

上記の黄金の比率(?)は、生物系のボスの下では実現が難しいかもしれない。情報系出身者は、いつ繰り出すのか分からない新兵器づくりに夢中になっていて、なかなか生物系の論文を書かないから、集団の1/3も雇用するのは無駄であると判断されがちである。しかし一流のバイオインフォマティクスの研究は、必ず優秀な情報系出身者に裏打ちされている。先述した「バ魂情才」の逆の「情魂バ才」、すなわち情報科学で培われた知恵をバイオ応用にぶつけるような一騎当千の俊才が出ないと、世界と勝負するバイオインフォマティクス研究にはならないのである。そんな天才は1人いれば十分なのかもしれないが、現実的には1/3くらいの集団を作って、孤立せずに相互に切磋琢磨できるだけの最低人数は雇用する必要がある。そうでなければその俊才は集団から出ていってしまうだろう。当分野がある程度の安定成長期に入った今、本当に不足しているのは、この「情魂バ才」の情報系出身のバイオインフォマティクス研究者なのである。

生物学と情報科学を並行して教えることは可能か？

新しい世代をバイオインフォマティクスに引き入れるにはどのような教育をすべきだろうか。21世紀はライフサイエンスの時代であり、医療・健康・食料・環境などの多くの分野でバイオテクノロジーが必要とされ、その技術力や知的財産権が国力に反映されると多くの学者が予想している。当分野の研究者、技術者を増やす必要性については論を待たないだろう。

生物学と情報科学の両方の基礎を持った人間を育てるにはどうすれば良いのだろうか？ それぞれを中途半端に教えるよりも、初めにどちらかの基礎をしっかり教えるべきだと論調が多く見られる。初心者を読んだ経験のある人にはそれはまさに実感だと思う。数カ月だけ教えてみたが、生物も分からない、プログラミングもできない、まして情報科学の理論にも明るくないということになると教えたかいない。言うまでもなく、もっと可哀想なのは学生側である。

だからみっちり生物学を教えて、または情報科学を教えて、大学院以降で残りの片方を教えればよいというのが、よく聞く意見である。第三者が言っているだけではなく、実際にこの分野の人材養成にあたった、プロ中のプロからも聞かれる意見である。

しかし、これから長く続いていく「ライフサイエンスの世紀」と、若者の柔軟な可能性を考えれば、やはり「若者には最初から両者を並行して教えるべき」ではなからうか？

日本はボトムアップな考え方をする文化であり、大事なことが最後の方に出てくる。しかしそれでは無駄が多いのである。最初に、この分野はバイオと情報の中間領域であり、この程度の範囲を勉強するのだということを示す。そこで肌に合わない人には別の道を選んでもらったほうが良い。生物学の従来型教育を受けた人のうちかなりの割合が、プログラミングが苦手、数学が苦手だと聞いたことがある。逆にそれらが得意な若者には長い生物学のカリキュラムが耐えられないのかもしれない。一方、情報系で何年も過ごした学生は、1,000ページをゆうに超す教科書を急に何冊も渡されて覚えろと言われても、記憶の努力が苦手であったりする。プログラミングも、記憶の努力も、少しでも若いうちに始めたほうが良い。だからこの分野に最適なカリキュラムを作成して、最初から英才教育をすべきである。

これは大変な試みである。日本のある私立大学で、文化系の課目とコンピュータリテラシーを組み合わせた学部を作って有名になったことがあるが、最初は、中途半端

| 年度 | 組織名 | 実施ユニット名 | 実施大学院・学部 |
|-----|--------------------------------------|--|--|
| H16 | 神戸大学 東京大学 | 臨床的・ゲノム・インフォマティクス 農学生命情報科学大学院教育研究ユニット | 医学系研究科 農学生命科学研究科 |
| H15 | 久留米大学 九州大学 | 臨床的バイオスタティスティクスコア人材養成ユニット システム生命科学人材養成ユニット | 医学研究科 医学研究院 |
| H14 | 京都大学 東京大学 | ゲノム情報科学研究教育機構 臨床的バイオインフォマティクス人材養成ユニット | 化学研究所 医学部附属病院 |
| H13 | 東京大学 産業技術総合研究所 慶應義塾大学 奈良先端大 | 生物情報科学学部教育特別ユニット 産総研生命情報科学人材養成コース システム生物学者育成プログラム 奈良先端大蛋白質機能予測学人材養成ユニット | 理学部 生命情報科学研究センター 理工学部 情報科学研究科 |

表-3 科学技術振興調整費新興分野人材養成（バイオインフォマティクス分野採択一覧）

であるとの批判が絶えなかったと聞く。既存の学問の枠組みから見れば、もちろん中途半端であろうが、そのような中間領域を作ろうというのだから仕方がないのである。

生物学を教えるにも、実験の時間を少し減らすとか、伝統的な課目の時間を減らすなどの切り捨てが必要であろう。情報科学についても、計算機アーキテクチャ、コンパイラ、プログラミング言語論、ソフトウェア工学などについては単独の講義ではなく特論などにまとめるしかないかもしれない（あくまでもバイオインフォマティクス学科の話です）。その代わりに、アルゴリズム（特にソーティング、文字列比較、グラフ理論）の授業や、パターン認識（SVMやカーネル法を含む）の授業などは情報科学にも負けないほどの専門的な授業を行う必要がある。取捨選択をしていくことが重要である。

教える人間は、生物学や情報科学の学科から借りてきてもよいが、そこで行う授業の内容は、伝統的なそれとは違うものにしなければならないし、バイオインフォマティクスの中でどう応用されるのかを必ず示しながら教えていく必要がある。これらの工夫をすれば、生物学と情報科学を同時に教えていくことは可能であり、今後そうあるべきだと考える。

我が国における人材養成ユニットの紹介

いまバイオインフォマティクスの教育を大学機関等で受けたいと思ったら、どこに行けばよいのだろうか？ 全国のさまざまな大学に関連の先生方がいて、熱意を持って教育にあたられている。しかしバイオインフォマティクスが裾野の広い分野であり、1人の教員だけではカバーしきれない分野であることを考えれば、組織として取り組みをしている場所を選ぶほうが良いだろう。そ

の1つの参考として、表-3に科学技術振興調整費を通じて設立された人材養成ユニットを紹介する。この予算に採択されていないグループでも優れたバイオインフォマティクスの研究をしている場所はあるが、人材養成に組織的に取り組んでいるという場所はほとんど網羅されていると言えよう。

全体の傾向として、臨床的、すなわち臨床医学との連携分野に政府が力を入れようとしていることが伺える。バイオインフォマティクスは生物学が対象であるが、実際に健常者や患者さんのデータを分析できるようになれば、社会への成果還元が早められる。またシステム生物学への期待も見てとれる。1つの系を網羅的に調べるようなバイオ研究は、技術的に難しいだけでなく、なかなか論文が書けず損をする傾向があったが、今後は生命をシステムとして理解する生物学者が増えることが望まれている。

大学の学部レベル、大学院レベルの教育は、さまざまな大学で提案されているが、中でも、東京大学の「生物情報科学学部教育特別ユニット」（平成13年開始）の内容は注目に値する。外部講師の力も借りながら夏期に集中的に講義を実施しているが、そのレベルは我が国で考えられる最も充実した授業と言っても良いだろう。残念ながら、まだ本当にバイオインフォマティクスの学部組織を作ったわけではなく、さまざまな学部からの熱心な学生や企業等からの聴講生が集まってきているだけなので、通年をフルに教えられるわけではない。これが通年の本当の学部になったときに、我が国としてのバイオインフォマティクス教育の模範例になるかもしれない。そのためには講師陣の確保が課題であろう。京都大学の「ゲノム情報科学研究教育機構」（平成14年開始）にも注目したい。これは先述した日本バイオインフォマティクス学会のカリキュラムを実現したもので、京都大学薬学部や東京大

A 基礎

A1. バイオ基礎

- A1.1 生物学基礎
- A1.2 分子生物学基礎
- A1.3 医学・薬学基礎

A2. 情報技術基礎

- A2.1. 数値解析・アルゴリズム
- A2.2. プログラム言語
- A2.3. 確率・統計
- A2.4. データベース
- A2.5. システム・ネットワーク

A3. バイオインフォマティクス基礎

- A3.1. バイオインフォマティクス概要
- A3.2. 分子生物学的データベース
- A3.3. 基礎的な解析手法

A4. 関連知識

- A4.1 知的財産と関連法規
- A4.2 生命倫理
- A4.3 個人情報保護とセキュリティ

B 応用

B1. 数理・知識表現

- B1.1. 数理的手法
- B1.2. 知識の表現と抽出

B2. ゲノム解析

- B2.1. 配列解析
- B2.2. 遺伝子解析
- B2.3. 遺伝子発現データ解析
- B2.4. ゲノム遺伝解析・ゲノム医学

B3. タンパク質構造・プロテオーム解析

- B3.1. タンパク質構造
- B3.2. プロテオーム解析
- B3.3. 計算化学

B4. 生命システム解析

- B4.1. 細胞内ネットワーク
- B4.2. システム生物学
- B4.3. システム医科学

表-4 バイオインフォマティクス技術者認定制度
2級出題範囲

外部に輩出している。バイオインフォマティクス分野では、習得すべき事項が膨大であるし、学部・大学院の教育が充実するまでの間は、社会人教育も含めて設計すべきである。なお将来は、教材が充実してくれば、バイオインフォマティクスの専門家を養成するのではなく、社会人が自らの業務に関連するパーツだけを、短期間で習得するような効率的な再教育も行えるようになるだろう。

バイオインフォマティクス技術者認定試験

教育の成果として、どのくらいスキルが身に付いたのかを客観的に判定する仕組みが必要である。本来は、生物学的な目的意識がどのくらいあるか、プログラミングを含めた問題解決能力がどのくらいあるか、を判定したいところだが、これらの客観的な判定は難しい。そこでまずは基礎知識が着実に定着しているかどうかの判定を目的として、公的な技術者認定試験制度が始まっている。

平成16年に「バイオインフォマティクス技術者認定制度(BICERT)」が開始され、初年度は「2級」の試験が行われた⁴⁾。主催は(社)バイオ情報産業化コンソーシアム(JBiC)で、日本バイオインフォマティクス学会、日本医療情報学会、情報計算化学生物学会の3学会との共催で実施された。表-4に示した出題範囲を見ると、先述のカリキュラム例とよく重なっている。この認定制度は経済産業省の委託事業で調査された結果を基に作られたものである。五者択一式の質問形式で、残念ながら実技等は問われていない。

2級レベルは、大学を卒業して、大学院や企業でバイオインフォマティクスに携わっている方には比較的容易に通過できると思われるが、従来の生物学だけ、情報科学だけを勉強してきた独学派には、知らない知識を問われて結構きつい内容かもしれない。

このような認定試験が全国的に定着するとともに、テキスト教材やe-Learning教材が次々と作り出されていくことを願っている。必要なスキル項目とレベルを定義していくことで、「研究者の数だけバイオインフォマティクスの定義がある」などという笑い話は、いずれ過去のものになるだろう。

参考文献

- 1) 経済産業省平成14年度事業「バイオ人材育成システム開発事業」報告書、三菱総合研究所、<http://www.meti.go.jp/policy/bio/jinzai/mitubishisoken.pdf>
- 2) 経済産業省平成16年度事業「バイオ人材育成事業」、三井情報開発、<http://research.mki.co.jp/actualresult/houkoku/biojinzai.htm>
- 3) バイオインフォマティクス教育カリキュラム、日本バイオインフォマティクス学会、<http://www.jsbi.org/society/curriculum.pdf>
- 4) バイオインフォマティクス技術者認定制度、バイオ情報産業化コンソーシアム、<http://www.jbic.or.jp/bicert/>

(平成17年2月9日受付)

学医科学研究所との共同で講師陣を確保している。

手前味噌になるが、大学院を出た後のポスト時代の養成、または社会人研究者に対する再訓練については、筆者らの「産総研生命情報科学人材養成コース」(平成13年開始)が特徴的だと思われる。我々はこの予算を、スタッフの雇用には使わず、分野転向を希望する優秀なポスト研究者に給与を出しながら養成することに使っている。少なくとも黎明期にあっては、比較的年齢が高くなってからの転向希望者も受け入れるくらいの度量がないと人材は集まらない。自分達の手下を雇うだけなのではとの批判も受けたが、理論物理学や情報科学など異分野からの転向希望者を導き入れ、立派な研究者として