

特集 学際的教育研究組織の現状と課題

アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラム

清水 謙多郎

東京大学大学院農学生命科学研究科

農学生命科学（アグリバイオ）分野におけるバイオインフォマティクスの重要性は、ますます高まっている。食、環境、生命といった今日の重大な社会問題に対応するため、その具体的な方法論として、また、細分化された専門分野を統合する手段として、バイオインフォマティクスは必要不可欠となっており、基礎、応用の両面からの教育が望まれている。「アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラム」は、バイオインフォマティクスの実践的基礎教育から、バイオインフォマティクスに関連した農学生命科学の教育と研究指導、さらには、この分野の社会連携、国際拠点の形成を目指している（図 1）。



図 1 アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラム

プログラムの設置

アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムは、2004 年度に、文部科学省科学技術振興調整費の支援を受け、東京大学大学院農学生命科学研究科

に「アグリバイオインフォマティクス人材養成プログラム」という名前で設置された。当時、科学技術振興調整費の新興分野人材養成では、全国で何件かのバイオインフォマティクスのプログラムが実施されたが、アグリバイオの分野で採択になったのは、本プログラムが最初であった。5年間実施した本人材養成プログラムは、その成果をもとに教育研究プログラムとして継続し、2009年度から文部科学省特別教育研究経費（2013年度まで5年間の予定）を中心に運営されている。

教育研究の体制については、特任教員として、専任の特任准教授3名、非常勤の特任教授7名を迎え、さらに、東京大学大学院農学生命科学研究科および生物生産工学研究センターの担当教員のほか、企業、他大学、他研究科の教員に非常勤講師やセミナー講師として参加していただいている（図2）。

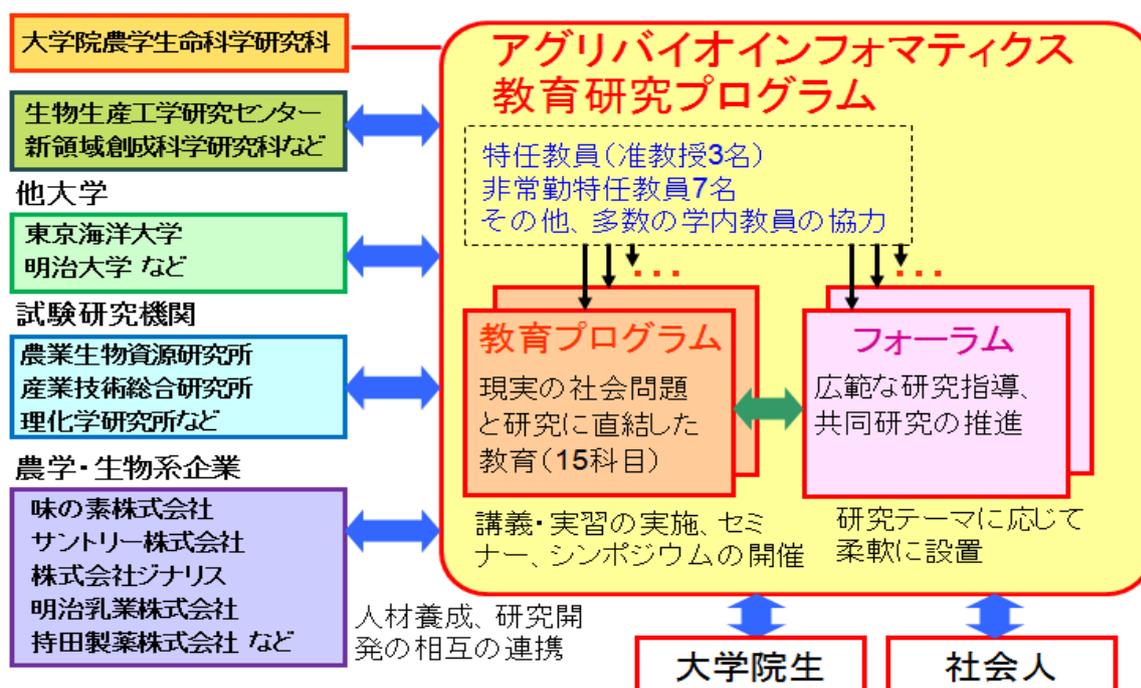


図2 アグリバイオインフォマティクス教育研究プログラムの体制

アグリバイオ分野におけるインフォマティクス

アグリバイオインフォマティクスとは Agricultural Bioinformatics（農学生

命情報科学)の略であり、生命現象を解明するための情報科学であるバイオインフォマティクスと、アグリバイオの実践的研究の融合を意味する。

農学生命科学は応用分野の広がりや対象の多様さにより、複雑な側面が多い。多様な生物、生態系も扱い、ゲノムやタンパク質だけでなく、天然化合物や代謝産物を研究対象とする必要がある。したがって、そこで利用されるバイオインフォマティクスの技術も多岐にわたり、複雑なゲノム構造の解析、生物種間の比較ゲノム、微生物集団のメタゲノム解析、メタボローム解析と幅広い。これらは、医薬の分野のバイオインフォマティクスと比べて特徴的な点である。アグリバイオインフォマティクスとは、農学で利用されるバイオインフォマティクスという意味だけでなく、農学のための、あるいは農学ならではのバイオインフォマティクスという意味をもつ。

プログラムの概要

本プログラムは、アグリバイオの研究に携わる大学院生や社会人にバイオインフォマティクスの教育を行い、それぞれの研究に役立てることができるようにすることを目指している。そのため、基礎から最先端の動向に至るまで、また研究指導をも含めて、受講者のレベルおよび要求に応じた教育を行っている。

本プログラムでは、まず、データベースや基本的なツールの利用など、基本を学ぶ科目を用意し、これまで体系的なバイオインフォマティクスの教育を受けてこなかった人でも、一定の知識・スキルが身に付くようにしている。また、アグリバイオと一口に言っても、食、生命、環境に関わるさまざまな分野があり、バイオインフォマティクスもそれぞれの分野にふさわしい形の利用がある。上に述べたように、ある対象に対して様々な手法を適用するというアプローチもアグリバイオの研究の特徴である。そこで、バイオインフォマティクスの方法論を幅広く学べるよう、多数の選択科目を用意している。さらに、個々の研究の現場で役立つことを目指し、学位論文等の研究を直接的に指導する体制を用意する。こうした研究指導を通して、実験研究者とインフォマティクス研究者、つまりウェットとドライが密接に協力し、現場に即したバイオインフォマティクスを模索していこうとしている。こうした試みは、本プログラムの大き

な特徴である。

本プログラムのもう一つの特徴は、産業界との連携である。アグリバイオは応用の学問であり、産業と密接に関連している。基礎を研究するにも、応用を視野に入れた基礎が重要である。このため、企業の研究者に特任教授として来ていただき、企業の現場でどのようなバイオインフォマティクスを利用したアグリバイオの研究が行われているか、また企業でどのようなバイオインフォマティクスの技術が求められているかを講義やセミナーの講師として指導していただくとともに、企業の現場での技術と人材養成の経験を生かした学生の研究指導をお願いしている。

カリキュラム

本プログラムで開講する講義科目は、大きく「基礎」、「方法論」、「先端トピックス」の3つのカテゴリーに分けられる (図3)。

「基礎」の科目 (生物配列解析基礎, ゲノム情報解析基礎, バイオスタティスティクス基礎論, 構造バイオインフォマティクス基礎) は、主にバイオインフォマティクスを利用した研究経験のない方を対象としている。生命科学のための各種データベースの利用法やバイオインフォマティクスを利用した様々なツールの利用法, 統計の基礎を学ぶことができるようにする。

「方法論」の科目 (知識情報処理論, 生物配列統計学, 分子モデリングと分子シミュレーション, オーム情報解析, 機能ゲノム学, システム生物学概論) では、「基礎」の科目を土台として、様々な実験手法 (大量塩基配列決定法, マイクロアレイなどの網羅的遺伝子発現解析法, 質量分析法, 二次元電気泳動法など) や計算機的手法 (配列アラインメント, 遺伝子領域予測, 進化系統樹解析, 連鎖解析, 隠れマルコフモデル (HMM), サポートベクターマシン (SVM) などの機械学習, タンパク質構造予測・比較, 分子シミュレーション, 遺伝子や代謝のネットワーク解析) について解説する。

「先端トピックス」の科目は、農学生命情報科学特論, 農学生命情報科学特別演習からなる。これらは、後述するフォーラムが中心となって実施する科目である。農学生命情報科学特論では、企業や大学の研究者が、それぞれの最先

端の研究課題について講義を行う。受講者は、先端トピックスの講義によりバイオインフォマティクスの実際の活用例に触れることで、学習のモチベーションを高め、自身の研究課題にも役立てることができる。また、本プログラムでは、バイオインフォマティクスを利用することによる新しいアグリバイオの研究の展開を目指しており、農学生命情報科学特別演習を通じて、本プログラム担当教員による研究指導を受けることができる。農学生命情報科学特別演習では、他の科目の知識・技術の習得を前提に、担当教員が、バイオインフォマティクスを利用したアグリバイオの研究あるいはアグリバイオへの応用を指向した新しいバイオインフォマティクスの研究に従事させ、修士・博士の学位取得の補助を行う。

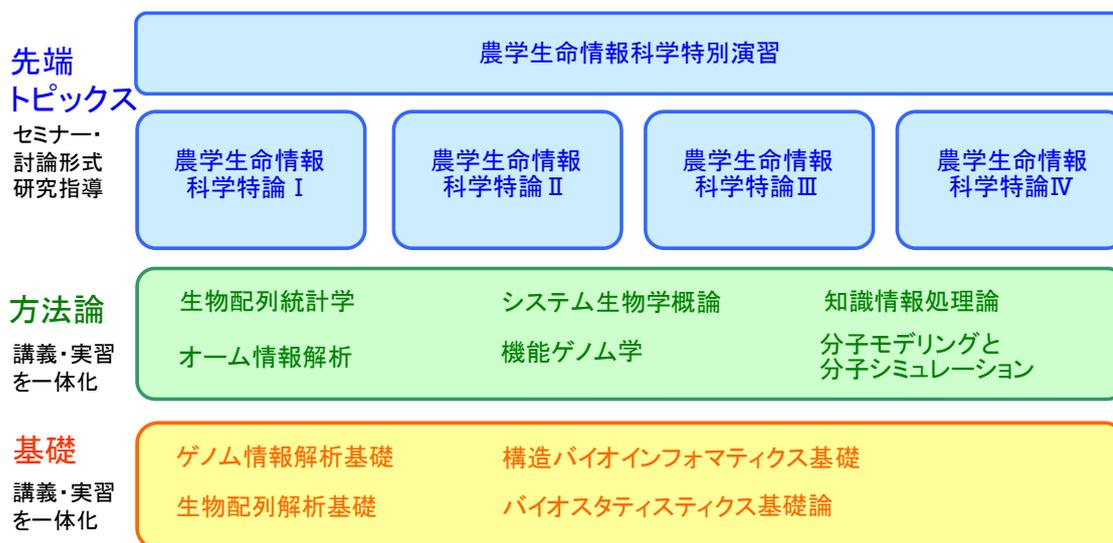


図3 カリキュラム

講義・実習の実施

本プログラムで実施する科目は、その多くが講義と実習を一体化して行っている。個々の研究の現場に即した実際に役立つ教育を実施するのに、こうした形態は不可欠である。そのため、これらの科目では、受講者に1人1台ノートPCを配布し、インターネットに接続して実習を行っている(図4)。専用の端末室がないため、既存の教室にネットワーク接続のための機器とノートPCを

持ち込む方法をとった。

本プログラムが開講する科目は、すべて東京大学大学院農学生命科学研究科の共通科目としている。また、多くの専攻で、課程修了に必要な単位として算入されるようになっている。東京大学の他の研究科からも単位の取得が可能である。こうした横断型の科目が設定されたのは、農学生命科学研究科では本プログラムが最初である。講義時間については、既存の講義と重ならないように、平日の夕方あるいは夏休みに集中して実施している。



図4 ノートPCを使った講義

修了の認定

実際に講義内容を習得したかどうかの評価は重要であり、本プログラムのほとんどの科目で、毎回テストやレポートを課して受講者の習熟度を厳しく評価している。単に授業に出席した、テキスト通りに実習したなどという基準では評価していない。また、実習の時間は、複数の教員、ポスドクあるいはTAがサポートし、疑問点はその場で解決できるようにするなど、きめの細かい指導を心がけている。

各科目は、単独で受講することができるが、開講している全14科目のうち、8科目以上に合格した受講者には、アグリバイオインフォマティクスの専門教育コースを修了したことを認定し、「修了証」を授与している。毎年2月、本プログラムの代表者である農学生命科学研究科長から学生に直接修了証を授与

する式がとり行われている（図5）.



図5 修了認定証授与式

左上: 2005 年度 會田勝美研究科長, 右上: 2010 年度 生源寺眞一研究科長,
左下: 2011 年度 長澤寛道研究科長, 右下: 修了証のサンプル

講義・実習の実績

表1に示すように、これまで174名の受講者に修了認定証が授与されている(2012年度の予定を含む)。また、表2に示すように、科目ごとでは、これまでに854名の受講者が本プログラムの単位を取得し、受講者の延べ人数は2200名以上に及ぶ(2012年度の予定を含む)。(実際には、ノートPCや使用するソフトウェアのライセンスの都合で受講者数を制限していることもあり、希望者

数はさらにこれを上回っている。) 受講者の所属は、表 3 に示すように、農学生命科学研究科内のほとんどの専攻にわたり、まさに研究科横断的な教育が実際に行われている。さらに、受講者は、研究科内のみならず、東京大学の他研究科，他大学，企業と分散している。

受講者に対して行ったアンケートの結果（2009 年度）を図 6 に示す。配布資料は受講者の 95%，実習は 96%が役立ったと回答し、受講者の 94%は本プログラムの受講が自身の研究に役に立ち、93%は本プログラムの受講によって学習意欲が増したという回答を得ている。本プログラムが発足した最初の年は、いくつかの科目で講義が難解すぎるといった結果が見られたが、毎年、アンケートの結果をふまえて講義内容の見直しを図っており、そうした回答は当初に比べて着実に減ってきている。修了者に対して行ったアンケートの結果（2011 年度）によれば、修了した受講者のうち、バイオインフォマティクスに関連した研究を行っている者は半数を超え、実際にバイオインフォマティクスを使った研究の発表を行った者は 1/3 以上に及んでいる。

表 1 修了者数

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	合計
修士課程		18(2)	29(8)	26(7)	26(8)	4(2)	8(2)	10(2)	7(2)	128(33)
博士課程		4(0)	2(0)	6(2)	2(1)	2(2)	4	7(2)	3	30(7)
社会人		2	0	3	1	0	1	6	3	16
合計		24(2)	31(8)	35(9)	29(9)	6(4)	13(2)	23(4)	13(2)	174(40)

() 内は研究指導の修了者，2012 年度は予定

表 2 開講科目の合格者数

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	合計
修士課程	12	65	73	83	68	70	107	89	115	682
博士課程	3	7	11	13	6	11	11	16	15	93
社会人	5	3	8	4	1	0	11	18	29	79
合計	20	75	92	100	75	81	129	123	159	854

表3 受講者の所属

他大学	9
他研究機関	6
民間企業	14
東京大学大学院薬学系研究科	2
東京大学大学院理学系研究科	8
東京大学大学院新領域創成科学研究科	6
東京大学大学院医学系研究科	2
東京大学大学院工学系研究科	6
大学院農学生命科学研究科生産・環境生物学専攻	18
大学院農学生命科学研究科応用生命化学	29
大学院農学生命科学研究科応用生命工学	21
大学院農学生命科学研究科森林科学	5
大学院農学生命科学研究科水圏生物科学	9
大学院農学生命科学研究科生物材料科学	2
大学院農学生命科学研究科農学国際	4
大学院農学生命科学研究科生圏システム学	4
大学院農学生命科学研究科応用動物科学	4
大学院農学生命科学研究科獣医学	6
東京大学農学部	4
合計	159

2012年度の内訳

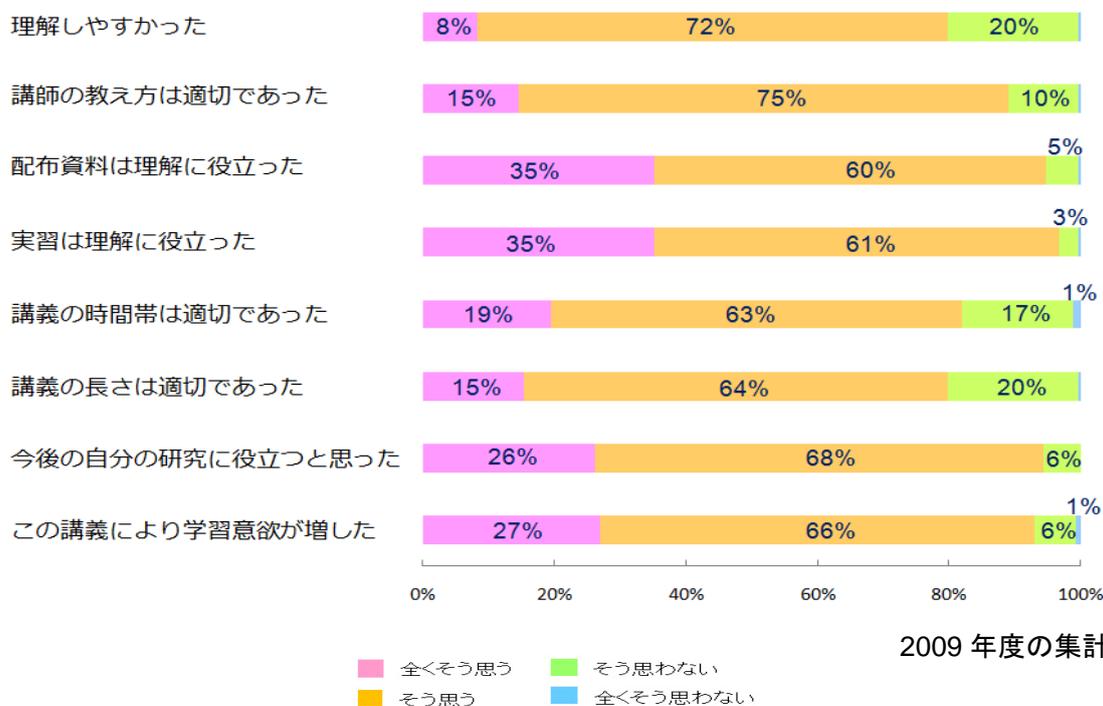


図6 受講者に対するアンケートの結果

研究指導と共同研究の推進

研究指導は、「農学生命情報科学特別演習」の科目に相当し、大学院生、社会人のいずれも対象とするが、大学院生については、学位論文研究の指導補助の形態をとる（副専攻的な位置づけである）。この場合、本プログラムは独立した専攻ではないため、既存の専攻の研究室に配属された学生の指導を補助することになる。具体的には、本プログラム担当教員のバイオインフォマティクスの知識・技術を生かし、実験系の学生に、実際の研究テーマに即した現場で役立つ指導や、アグリバイオ分野への応用を指向したバイオインフォマティクスの手法やシステムの開発に関する指導を行っている。年度末には、従来の学位論文審査とは別に、バイオインフォマティクスに関連した研究で、学位論文にふさわしい研究を行っているかどうかを審査し、合格した者を修了させている。審査会は公開で、担当教員が採点を行っている。

特任教員のうち、主に企業から招聘した7名の特任教授により、これまで約40名の学生の研究指導が行われ、その多くが学生の所属研究室との共同研究を行っている。また、これらを含めて、特任教員と実験研究者との間でこれまで30件以上の共同研究が発足している。主な共同研究のテーマを挙げると、「味覚修飾タンパク質ネオクリンの立体構造解析と甘味誘起メカニズムの解明」、「味神経を含む感覚性脳神経節の遺伝子発現解析」、「ダイオキシシン分解酵素の基質認識メカニズムの解明」、「原核生物の開始コドン近傍の配列の特徴解析に関する研究」、「ミオシン重鎖遺伝子の発現解析によるメダカ筋分化の研究」などがある。本プログラムでは、通常の講義の受講者に対しても、自身の研究でインフォマティクス技術に関する質問がある場合は自由に相談するように呼びかけ、教員の居室に受講者がいつでも利用できるような端末コーナーを設けており、そうした積極的かつ具体的なニーズ発掘の体制の中から共同研究が生まれたケースもある。本プログラムがインフォマティクス研究者と実験研究者との連携、産学の連携に大きく貢献していることがわかる。

フォーラム活動

本プログラムでは、研究課題ごとにフォーラムを形成し、セミナー、シンポジウムの開催など、当該研究課題の活性化を図っている。フォーラムのメンバーは、本研究科の教員のほか、他大学、企業、試験研究機関の研究者から構成される。各フォーラムと設立趣旨は以下の通りである（設置順に記載）。

(1) 微生物インフォマティクス・フォーラム

DNA 塩基配列決定技術の目覚ましい発展により、微生物ゲノム情報は飛躍的に増加している。このため、微生物学と生物情報科学の融合は必要不可欠となっており、様々な角度からの検討が必要となっている。本フォーラムでは、バイオインフォマティクスを基盤として次世代の微生物学の展開を目指す。

(2) 基盤バイオインフォマティクス・フォーラム

本フォーラムでは、配列解析、タンパク質構造解析、シミュレーション、分子進化解析、集団遺伝、遺伝子発現情報解析、システム生物学など、バイオインフォマティクス全般を対象とし、その利用を考える。オーム研究の実験データ解析、タンパク質構造決定などの技術も扱い、実験研究者に役立つバイオインフォマティクスの教育研究を行う。

(3) アグリ／バイオ・センシングと空間情報学フォーラム

農学生命科学分野におけるバイオイメージングやリモートセンシングをはじめとしたセンシング技術と得られた情報を統合する手段としての空間情報学の発達にはめざましいものがある。本フォーラムでは、アグリバイオインフォマティクスの基盤としての生命や環境、食料などにかかわるセンシングと空間情報学についての教育と研究指導、さらには、この分野の社会連携、国際拠点の形成を目指す。

(4) 食品インフォマティクス・フォーラム

食品研究は、農学生命科学分野の重要な柱の一つである。ニュートリゲノミクスに代表される、食品研究と生命情報科学の融合は、近年めざましい成果を挙げつつある。本フォーラムでは、食品研究にさらに情報科学を積極的に取り入れ、この分野を発展させることができる人材の育成と研究指導を行う。また、産業界とも連携し、世界の食品研究をリードすることを目指す。

(5) 構造バイオインフォマティクス・フォーラム

生命活動の本質は、タンパク質や核酸など、生体高分子どうしの相互作用と、これに対する応答であり、適切な相互作用形成と応答の基盤は立体構造にあると言える。本フォーラムでは、構造バイオインフォマティクス、分子モデリング、分子シミュレーション技術を駆使して、立体構造から生体高分子の機能の本質的な理解を目指す。また、ターゲットタンパクの後継として発足した文部科学省創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業とも密接に連携していきたいと考えている。

(6) 農業生物インフォマティクス・フォーラム

さまざまな作物、園芸植物と、それらに寄り添う昆虫や微生物、さらにそれらが構成する農業生態系を対象としたインフォマティクスを展開する。遺伝子、分子、細胞、個体、生態系、環境といった異なる階層ごとの情報を処理する技法を研究するとともに、それらの情報を俯瞰的に分析、統合することのできる人材を育成する。

(7) 植物インフォマティクス・フォーラム

植物研究は農学の重要な柱である。近年の DNA 塩基配列決定技術の目覚ましい発展などにより各種作物ゲノムの解析が進められ、また品種間のゲノム配列の違いが明らかにされつつある。これらの情報を駆使し植物の示す様々な振る舞いを高度に理解し制御するためには、生物情報科学が不可欠になっている。本フォーラムでは、バイオインフォマティクスを利用して新たな植物科学を推進する。

その他の活動

上記のフォーラムを中心に、本プログラムでは、「アグリバイオインフォマティクスセミナー」と題して、随時、関連分野のセミナーを開催している(図7)。これらは、本プログラムの教員・受講者だけでなく一般に公開しており、この分野の内外の最先端の研究を紹介する役割をもっている。また、これまで5回シンポジウムを開催し、本プログラムの教育・研究成果を発表している(図8)。

学会活動としては、日本バイオインフォマティクス学会に「アグリバイオイ

ンフォマティクス研究会」を設置し、活動している（図9）。また、バイオインフォマティクス標準カリキュラムの検討に参加し、食品インフォマティクスのカリキュラムの策定が行われた。今後、この分野のインフォマティクスの進展にあわせて、本プログラムの教育にも反映させていきたい。



図7 アグリバイオインフォマティクスセミナー



図8 第5回アグリバイオインフォマティクスシンポジウム



図9 第1回アグリバイオインフォマティクス研究会

おわりに

現在、新しいフォーラム活動としてバイオマスインフォマティクスフォーラムの立ち上げを準備している。今後も引き続き農学生命科学のより幅広い分野に活動を広げ、アグリバイオインフォマティクスの研究をさらに発展させていきたい。また一方で、フォーラム間の連携を強化し、アグリバイオインフォマティクスを基盤とする農学生命科学のさまざまな分野間の統合を促進していきたいと考えている。本プログラムの活動は、社会の要請も強く、受講生・担当教員はもちろん、産業界からも継続を望む声が多数寄せられており、より長期的な教育研究拠点作りを目指していく予定である。

本プログラムの活動は、ホームページ (<http://www.iu.a.u-tokyo.ac.jp>) で公開している。シンポジウム、セミナーの参加は自由で、講義・実習の受講も、大学院生・社会人を問わず、定員に空きがある限り可能である。また、開講しているほとんどの科目で、講義資料を上記 URL に公開し、自由に閲覧できるようにしているので、興味のある方は参照されたい。

本プログラムは、2012年11月現在で、東京大学農学生命科学研究科長長澤寛道教授を代表とし、専任の特任准教授として、寺田透、西田洋巳、門田幸二の3名、非常勤の特任教授として、鈴木榮一郎（味の素株式会社）、田中隆治（星薬科大学）、西達也（株式会社ジナリス）、西島和三（持田製薬株式会社）、諏訪牧子（産総研、青山学院大学）、北田修一（東京海洋大学）、麻生川稔（日本電気株式会社）の7名が中心となって活動している、また、農学生命科学研究科の清水謙多郎、岸野洋久、阿部啓子、田之倉優、嶋田透、中井雄治、生物生産工学研究センターの野尻秀昭が兼任教員として本プログラムの運営に携わっているほか、農学生命科学研究科の浅川修一教授、大島研郎特任准教授、新領域創成科学研究科の有田正規教授をはじめ、多数の非常勤講師の先生方にも、講義だけでなく、本プログラムの運営に関してご指導をいただいている。そのほか、専任のポストクの徳丸信子、事務補佐員の三浦文が本プログラムの活動をサポートしている。

本プログラムでは、現在のスタッフ以外に、これまで特任准教授1名、特任助教（助手）7名、ポストク9名が従事してきた。バイオインフォマティクス

の研究者は数名で、多くは、バイオインフォマティクスに興味を持つ実験研究者である。本プログラムにおける研究教育活動を通じて、バイオインフォマティクスの基礎を習得し、自らの研究に生かすことのできる人材に成長した後、バイオインフォマティクスを活用できることを武器として、実験系の研究室に就職している。退職後の職としては、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、明治大学、東京農業大学、農業生物資源研究所、理化学研究所の教員、研究員などが挙げられる。本プログラムの受講者がそのまま本プログラムの特任助教（指導する側の立場）となった例もあり、ウェット・ドライの両方に対応できる融合型人材の育成に貢献してきたと確信している。

最後に、歴代の研究科長の先生方 — 本プログラムの予算申請を最初に勧めていただいた林良博先生、本プログラムを研究科内に立ち上げ、さまざまなご支援・ご指導をいただいた、プログラムの名付け親でもある會田勝美先生、本プログラムの発展に多大なご支援・ご指導をいただいた生源寺眞一先生、発足および継続の際の予算申請でお世話をいただき、現在代表としてご指導をいただいている長澤寛道先生に心より感謝申し上げます。また、日ごろより本プログラムの活動をご支援いただいている農学生命科学研究科の教員および事務職員の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。