

The NIH Bioengineering Consortium (BECON) の設立： 新世紀の医学・医療のパラダイム変化に向けて

後藤真己, 梶谷文彦

The NIH Bioengineering Consortium (BECON): Making Progress toward a New Paradigm of Medicine in the 21st Century

Masami GOTO and Fumihiko KAJIYA

キーワード：BECON, NIH, 医用生体工学, 医学・医療のパラダイム

概 要

20世紀の医学・医療は、心電図、X線 CT、MRI など代表されるように理工学領域で開発された技術を導入することでめざましい発展を遂げてきた。21世紀の幕開きを目前にした現在、分子生物学の急速な進歩によってもたらされた遺伝子に関する生体情報の爆発的な増加に直面し、細分化、膨大化した生体情報から医学・医療に貢献しうる機能的意義を見いだす統合理解の試みが求められている。この点、医学・生物学と理工学の学際領域で生体機能を取り扱ってきた医用生体工学は、生体機能の時間的要素も考慮して遺伝子から細胞、組織、臓器、個体にわたって機能の階層性を理解するためのキーとなる学問と考えられ、その応用によって医療機器の発展を通して個人の健康・医療・福祉を支援するための有効な方法論を提供できるものと期待されている。このような、新世紀に向けて進んでいる医学・医療のパラダイム変化に先行するように、最近、米国の医用生体工学研究が活気づいている。その背景として米国の生物医学研究の動向を左右する National Institutes of Health (NIH) が医用生体工学の積極的な支援に乗り出したことが挙げられる。このような NIH のリーダーシップの現れの一つが Bioengineering Consortium (BECON) である。本稿では、BECON 設立の背景とその後の動向について紹介し、医用生体工学の現状と新世紀に向けての新たな展開について述べる。

1. 医学・医療のパラダイム変化

21世紀の幕開きを目前にして今世紀の医学・医療の方法論を振り返ると、理工学領域で開発された技術を導入することで医学・医療がめざましい発展を遂げたことがわかる。その嚆矢ともいえる代表例が、アイントフェンによる心電図の開発であり、医用生体工学 (Medical and Biological Engineering: 本稿では以下 MBE) の源泉ともいえるものである。また、今から100年前にレントゲンによって発見されたX線は人体内部の透視に応用され、今世紀の医療の性格を象徴するものとなった。今世紀後半になると、X線 CT や MRI、ポジトロン CT など、各種医療機器の導入により医師は客観的計測制御技術や情報処理技術を手にいれた。MBE は「見えなかったものを見る」、「計れなかったも

のを計る」、「コントロールできなかったところに手を伸ばす」という夢の実現に貢献し、そのため臨床の場における診断や治療技術はかつてないほど急激に進歩し、現在では MBE のない医療は考えられない状態になっている。

最近約20年間で著しく進歩した分子生物学からは、分子から細胞、組織、臓器、個体にいたる各階層で生体の構造と機能について遺伝情報論の立場からとらえる材料が提供され、この分野と MBE の融合が進んでいる。すなわち、ゲノムプロジェクトに代表される分子生物学研究は、遺伝子に関する生体情報の爆発的な増加をもたらした。そこで、細分化、膨大化した生体情報から医学・医療に貢献しうる機能的意義を見いだす統合理解の試みが求められている。この点、医学・生物学と理工学の学際領域で生体機能を取り扱ってきた MBE は、生体機能の時間的要素も考慮して遺伝子から細胞、組織、臓器、個体にわたって機能の階層性を理解するためのキーとなる学問と考えられ、その応用によって医療機器の発展を通して個人の健康・医療・

(平成11年9月9日受理)

川崎医療短期大学 臨床工学科

Department of Medical Engineering, Kawasaki College of Allied Health Professions

福祉を支援するための有効な方法論を提供できると考えられる。すなわち、分子生物学の成果を最大限に利用した質の高い医療技術を開発することにより、quality of life の向上、ひいては人類共通の願いである生命の尊厳の具現化に資することを目標にした21世紀のMBEの創出が進められている。このような医学・医療のパラダイム変化を背景に、現在ではMBEは単なる学際領域というより「医学と生物学を統合的に把握する」ものであるとの認識が普及し、“MBE integrates Biology and Medicine”と定義されることが国際的にも一般的になってきている。

ヒューマン・ゲノムのドラフト完成を2001年、最終的な完成を2003年にひかえて、21世紀初頭の医学・医療をリードすることができるMBEを準備するために、最近、米国のMBE研究が活気づいている。その背景には米国の生物医学研究の動向を左右する National Institutes of Health (NIH) がMBEの積極的な支援に乗り出したことが挙げられる。このようなNIHのリーダーシップの現れの一つがBioengineering Consortium (BECON) である。本稿では、BECON 設立の背景とその後の動向について紹介し、MBEの現状と新世紀に向けての新たな展開について述べたい。

2. BECON 設立の背景

1997年2月、米国のNIHにBECONが設立された。設立の趣旨はNIH 所長、Harold Varmus からNIHのすべての研究所、センター、部署の長に対して発せられたメッセージに端的に示されている。すなわちVarmusは、「生体工学は、工学原理と技術を用いて生物学的知識を増やすことによって我が国民の健康を増進し、新しい器機や薬品の開発を促進する方法に貢献する」と生体工学の意義を認め、「生物学、医用生体工学の境界は消滅しつつあり、その結果、協同研究と学際教育が増加している」と今日の学際状況に言及したうえで、BECON の設立を宣言した。そして、BECON の役割として、BECON がグループとして生体工学の諸問題に取り組む中心となり、NIHの諸施設、部門だけでなく他の政府機関とも横断的に協力するよう訴えた。

NIHにBECONが設立された背景としては、生物医学の多方面で研究・教育を支える多くの施設からなるNIHの巨大生命科学研究所としての特徴と、Varmus所長の広範な学識・経験に基づく指導性が挙げられる。NIHは、その巨大さゆえに全体として目的を総

括することは必ずしも容易でないが、その使命は「生体システムの性質と振る舞いに関する基礎知識を追求する科学」にあり、「これを健康な人生の継続と疾病や障害による苦しみを軽減するために応用する」ことと表明されている。このような、基礎から応用にわたる使命を達成するため、NIHは分子生物学から集団医学まで、実に多彩な領域を扱う巨大生命医学研究所として発展してきた。したがって、NIHは本来、その諸施設・部門を横断的に組織することで、生物医学分野の学際的な研究協力を多角的に行うのに都合の良い複合的組織構成になっているといえる(表1にBECONを構成する組織を記す)。さらに、米国政府機関としてはNIHが最大の生命科学研究開発費の支出母体であることから、研究費の面からも新しい研究領域の推進に対してリーダーシップをとり易い態勢になっている¹⁾。

NIHは学際領域である医用工学の研究開発に対して、設立当初から、ギボンの人工心肺研究に対して第1回目の研究助成を行うなど支援しているが(1949年から1962年まで助成)²⁾、その後、上述した最近20年間に急成長した分子生物学がもたらした遺伝子、RNA、蛋白などの生体情報の爆発的な増加を背景として、こ

表1 Bioengineering Consortium (BECON) を構成する組織

NIH Office of Extramural Research
NIH Center for Scientific Review
NIH Office of Intramural Research
NIH Clinical Center
NIH Office of Research Services
NIH Center for Information Technology
National Cancer Institute
National Center for Research Resources
National Eye Institute
National Human Genome Research Institute
National Heart, Lung, and Blood Institute
National Institute on Aging
National Institute of Alcohol Abuse and Alcoholism
National Institute of Allergy and Infectious Diseases
National Institute of Arthritis and Musculoskeletal and Skin Diseases
National Institute of Child Health and Human Development
National Institute on Drug Abuse
National Institute on Deafness and Other Communication
National Institute of Dental and Craniofacial Research
National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases
National Institute of Environmental Health Sciences
National Institute of General Medical Sciences
National Institute of Mental Health
National Institute of Neurological Disorders and Stroke
National Institute of Nursing Research
National Library of Medicine
National Science Foundation
Department of Energy

これらの機能が統合されて生理的機能があらわれる仕組みを理解するためには境界領域に注目して生体工学研究を進める必要があるとの新たな認識が生まれ、Varmus 所長の主導によって、生体工学の強力な研究・教育プログラムを推進することになった。

1993年にノーベル賞受賞者として初の NIH 所長に就任した Varmus の生物学上の経歴については、よく知られているようにポストドクとしてカリフォルニア大学サンフランシスコ校 (UCSF) の Bishop 研究室に加わって以来、同校で Microbiology and Immunology, Molecular Virology, Biochemistry and Biophysics などの教授をつとめ、プロトがん遺伝子の発見 (ラウス肉腫ウイルスのサークがん遺伝子が正常細胞にもあることを発見) で1989年に Bishop とともにノーベル生理学/医学賞を受賞した。Varmus の学識は専門である生物学以外にも幅広く及び (ハーバード大学英文学修士), 多くの学問領域に関心を持つことが大変重要であり、生物医学と理工学の協力の重要性については早くから認識していたと語っている^{3,4)}。そして、従来の NIH のスタディセクション (研究費申請の審査を担当) では境界領域の研究申請に対する評価が十分になされていないと考えていた米国生体工学分野の指導者による、医用生体工学研究者グループの統合組織化 (American Institute for Medical and Biological Engineering: AIMBE の設立, 1992年) を背景とした熱心なロビー活動に応じるように、Varmus は生体工学分野の研究費を提供する母体、BECON を設立した。

3. American Institute for Medical and Biological Engineering (AIMBE)

BECON の設立に大きく貢献した AIMBE (エイム・ビーと呼称)⁵⁾ の主な目的は、米国の MBE の研究者を横断的に組織して、MBE のアイデンティティーの確立とその諸活動の推進に貢献することにある。具体的には、国民に対する MBE の啓蒙、政府機関や各種専門家団体との連絡、MBE 関連の団体間の協力推進、そして国の科学技術教育の推進に尽くすことなどである。

AIMBE の初代会長はジョージア工科大学の Nerem 教授であるが、彼は就任演説で「近年 MBE は各分野で進歩し、医療分野で大きく貢献するとともに、今では細胞工学や分子生物学分野との融合も進んで、医学生物学の基礎研究分野、ヘルスケア、医療産業界でもその重要性が強く認識されるにいたった」と述べてい

る。AIMBE の目的の一つは、すそ野の広い MBE 分野の一つにとりまとめ、結束して活動し、米国議会、政府への働きかけを行うことでもあり、発足以来、毎年2月ないし3月に米国ワシントン D.C. にある The National Academy of Science で MBE に関する産・官・学によるオーバービューを行い、社会的にも強いインパクトを与えている。また、全米科学基金や NIH から軍まで多くの米国政府機関とも連携して各分野における MBE の発展に貢献している。

4. BECON 発足後の動向

BECON 設立の科学的根拠は(1)分子生物学や遺伝子工学の知見の機能的な意義を明らかにすることによって生体システムを構成的に理解する、(2)基礎研究から実用研究までの移行をより効率的に行う、(3)境界領域の研究をより効果的に融合させる、この3つの必要性からである。また、それを実行するための戦略として、(1)産官学の協力を推進しながら基礎生物学と工学と医学の強力な協力態勢を整える、(2)生体工学の教育・研究態勢の整備を進める、(3)分子生物学、物理化学、生体システムの機能間の関係をわかりやすくかつ定量的に示すため、データベースを作成して学際間および産官学の理解と対話をより容易にすることが強調されている。表2に BECON が援助している MBE 研究分野を示すが、生体の分子機構から新しい治療機器まで多岐にわたる。

BECON 発足後の重要な活動として、まず、Varmus が NIH のランドマークイベントと評したシンポジウム “Bioengineering: Building the Future of Biology

表2 BECON が援助している MBE 研究分野

生体情報、医療情報
分子から臓器レベルまでの画像診断
機器開発
極微小生体計測技術、高性能センサー
バイオメカニクス
リハビリテーション、義手義足
神経工学
生体電気/生体磁気、イオンチャネルおよび細胞・臓器機能治療 BME および薬剤到達技術、遺伝子治療技術
生化学工学
生体加工、生体材料、生体膜
臓器培養と臓器形成、複雑生物系
細胞・組織工学、組織再生
モデル化と数値計算
構造・機能的遺伝子工学
フィジオーム

and Medicine”が挙げられる(1998年2月開催)。同シンポジウムには、政官界、学界、産業界、国立研究機関、NIHのすべての施設から750人以上が出席してBECONによる生体工学のworking definitionである「物理、数学、化学、工学を用いて遺伝子から機能に至る過程を構成的に理解し、医学に役立てる」に沿ったアプローチが多々紹介された⁶⁾。また、このシンポジウムには、Einstein以来、科学者の立場から科学と国際問題について声明を発表するPugwash会議の議長を長年つとめ、1995年にノーベル平和賞を受賞した生体工学者Nalecz教授も出席してシンポジウムに貢献し、注目された。

今年3月には、Varmusが米国物理学会の設立100周年記念式典に招かれて講演し、生体工学の重要性を訴えてBECONを宣伝している。この講演で、Varmusは、開業医の父親から教わったX線診断、カレッジで取り組んだ心電図、医学校で経験したRI標識による赤血球寿命評価法の開発などを通じて、生体の評価には物理学が重要であると認識していたことを述べた後、

“molecular biology”の命名者が数理物理学者(Warren Weaver 1932)であることなどを紹介して、“Bringing physics, not just physicists, to the problems of biology”と訴えた。そして、学際領域の新しい研究資金源としてBECONを紹介し、物理学者の積極的な参加を促した。6月には、BECONの重要テーマの一つであるイメージングについて、シンポジウム“Visualizing the Future of Biology and Medicine”が開催され、医用生体画像科学の可能性とNIHが将来助成すべき領域について議論された⁷⁾。

研究財源に関しては、現在米国議会で審議中の2000会計年度予算に計上されているNIHの総予算159.33億ドルの用途説明の演説で、Varmusは1999会計年度におけるBECONの意義を示して、今後も学際領域をNIHの主要課題と位置づけている。BECON発足後、NIH内部ではMBE関係のグラント審査について見直し作業が進められている。今年3月、米国ワシントンD.C.で開催されたAIMBEのAnnual Eventでは、NIH Center for Scientific ReviewのEllie Ehrenfeld所長が、MBE関係のグラント審査について見直すワーキンググループの報告を基に、これまでNIHが主に採用してきた“hypothesis-driven”research(仮説の

検証と新たな知識の追究に主眼を置いた研究)に対する審査方法を硬直的に適用すると、新たな知識の創出の背景にある応用的な側面を評価することができず、また、生物医学者と工学者との協力の促進や革新的研究の推進を阻害する可能性があると分析し、「科学(研究の現在の有り様)が審査を導くべきで、その逆ではない」との原則にしたがって、今後、医用生体工学領域の現状を鑑みて、NIHのグラント審査過程を改善し、MBEをサポートすると述べた。BECONの議長には、NIHの研究費の8割以上を占めるNIH Extramural Researchを統括するNIH副所長Wendy Baldwinが迎えられており、生体工学の領域の研究助成を推進する態勢は整えられていると言える。

5. おわりに

1997年のBECON設立とその後の動向は、NIHが、これまで進めてきたヒューマン・ゲノムのドラフト完成を2001年、最終的な完成を2003年にひかえて、次の時代の要請を学際領域の研究振興に見いだし、生体工学を重要課題と位置づけて研究支援を強力に進める態勢づくりをダイナミックに、かつ迅速に進めている表れと理解することができる。そして、このNIHのイニシアティブは、現在審議中の米国2000会計年度の予算案にすでに盛り込まれており、21世紀の世界の生体工学分野の研究進展に大きなインパクトを与えるものと予想される。

文 献

- 1) 白楽ロックビル：アメリカの生命科学研究費、アメリカの研究費とNIH、東京：共立出版、pp. 39-64、1996。
- 2) Comroe JH Jr.：The need for an artificial heart. In: Exploring the Heart. Discoveries in Heart Disease and High Blood Pressure, New York: W. W. Norton & Company, Inc., pp. 22-89. 1983.
- 3) Marshall E：Varmus tapped to head NIH. Science 261：820-822, 1993.
- 4) UCSF Magazine. Jan 1990.
- 5) 菊池 眞：AIMBE発足記念講演会に出席して、BME 6：50-52, 1992.
- 6) 梶谷文彦：Physiome Project Steering Committeeより、BME 13：44-48, 1999.
- 7) <http://www.capconcorp.com/grants/becon/meeting99/index.asp>