

バイオエコノミーという概念、 欧米の戦略、日本への期待

理事研究員 藤島義之

〔要 旨〕

バイオエコノミーという言葉は、エコノミーという言葉が示すとおり経済活動の変革のためと捉えられてきた。バイオエコノミーとは日本では呼ばれなかったものの、バイオマス・ニッポン総合戦略やバイオテクノロジー戦略大綱の目指すところは実質的なバイオエコノミーであったと考えられる。脱化石資源社会を目指す取組みについては欧米諸国より日本の方が長く、失敗も成功も多くの経験がある。日本がこれまでに進めてきたことを活かして、脱化石資源社会が形成されることが望まれる。そのためにもバイオマスが供給源となる一次産業の形成に大いに期待したい。

目 次

はじめに

—バイオエコノミーとは?—

1 バイオエコノミーの成り立ち

2 欧州の政策

(1) 戦略の背景

(2) 政策としての実施項目

(3) 現在の取組み

3 米国の政策

(1) 戦略の背景

(2) 政策としての実施項目

(3) 現在の取組み

4 日本の政策

(1) 戦略の背景

(2) 政策としての実施項目

5 日本のバイオエコノミーと農林水産業

6 政策とサステナビリティに関する考察

おわりに

はじめに

—バイオエコノミーとは?—

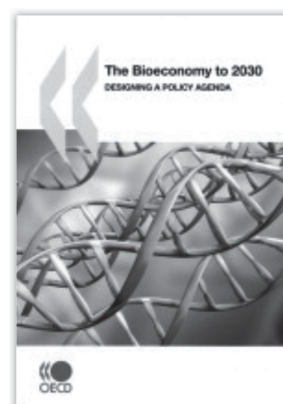
バイオエコノミーという言葉は、世界的に合意された明確な定義がないものの、脱化石資源経済をつくることが基本となる概念である。バイオマスをエネルギーやモノづくりに用いることをベースに行い、食品やヘルスケアも含めた充足や発展についてバイオテクノロジーを活用して行うことがコンセンサスになっている。OECDが目指したものの、また欧米を代表例としたバイオエコノミーという言葉が持つ意味、政策における位置づけ、産業育成支援活動等について本報告にて特徴を分析する。そして欧州、米国、日本の戦略作りの背景、日本の農林水産政策における考え方の重なりと今後の可能性を展望したい。

1 バイオエコノミーの 成り立ち

それまでも欧州を中心とする議論があったものの、2009年に経済協力開発機構(OECD)が出した“The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda”が一つのきっかけとなり、バイオエコノミーという考え方が世界に広がり始めた(第1図)。

OECDの作業としては07年にバイオテクノロジー作業部会が核となり開始され、09年に発表された。OECD加盟国がそれぞれの知見を持ち寄り、役割分担が決められ執

第1図 OECDから出された
The Bioeconomy to 2030



出典 OECD(経済協力開発機構)

筆が行われた。日本は経済産業省の命を受け、産業技術総合研究所メンバーが主としてヘルスケアの領域を担当した。

このレポートはバイオエコノミーについて、バイオテクノロジーにより経済アウトプットが大幅拡大する世界をイメージし、持続可能な開発や環境のサステナビリティへの寄与の可能性を述べている。その要素としてバイオテクノロジー、再生可能なバイオマス、そして多岐にわたる用途が挙げられている。また世界の環境分析、技術の分析、政策や経済活動としての転換の在り方、産業の寄与などについて一次産業、ヘルスケア、製造業に大きく分けてその重要性が述べられている。

レポートの公表が機となり、世界の多くの国が国家戦略の策定に着手した。10年にはドイツから研究開発戦略が発表され、12年以降欧米をはじめとして各国が国家戦略を発表した。南北格差や鉱工業の促進などに地域差はあるものの、共通する目的として、バイオテクノロジーを一次産業、ヘル

スケアおよびモノづくりに関する鉱工業等に
 応用することである。つまりはバイオテ
 クノロジーが経済的生産の大きな部分を占
 める“バイオエコノミー”をもたらす可能
 性があるとしている。

しかしながら各国の作成したアプローチ
 は、それぞれの持つバイオエコノミーや研
 究開発政策の違いがあることから、多少異
 なってきている。米国による12年に発表さ
 れた戦略では、バイオテクノロジーを用い
 た新ビジネス等の育成にフォーカスされた
 ものを発表した。一方欧州は、バイオマス
 を用いて地球環境に対する様々な課題解決
 を進めるとしている。OECD、欧州、米国、
 日本のそれぞれの考え方は第1表にまとめ
 たが、OECDのレポートにおいて、考えら
 れる要素が広く込められていたことに対し、
 欧州はより食料安全保障や環境配慮に対す
 る対応を様々な技術を用いての解決を目指

している。米国は技術による市場創出に主
 眼が置かれ、対象とする市場領域として健
 康、エネルギー、環境を挙げるが、製造業
 のバイオ手法への転換や雇用の創出が重要
 としている。

またバイオエコノミーに関する代表的な
 流れを第2表にまとめた。議論はあると思
 われるが、環境に対する意識は70年代に行
 われた国連人間環境会議やオイルショック
 などにより意識が芽生え、92年の地球サミ
 ットにより意識が顕在化したと思われる。
 その後についても主だったバイオエコノミ
 ーの動きを年表とした。

本文を読み進めるうえでの理解促進につ
 ながれば幸いである。

ここから、欧州、米国のバイオエコノミ
 ーについて深掘りする。

第1表 世界のバイオエコノミー戦略比較

	OECD The Bioeconomy to 2030, designing a policy agenda(2009)	米国 National Bioeconomy Blueprint(2012)	EU Innovation for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe(2012)	日本 バイオ戦略(2019)
背景、目的	ヘルスケアや農林水産物 の需要、生態系の持続可 能性、気候変動	健康、エネルギー、農業、 環境、シェアリングなどが トレンド	食品安全、天然資源枯渇、 化石資源依存、気候変動、 持続可能な経済発展	世界勢力の変化、人口増 加、持続可能性、循環型社 会、健康
技術	遺伝子と複雑な細胞プロ セスに関する高度な知識、 バイオテクノロジーアプ リケーション	合成生物学、プロテオミッ クス、情報技術	バイオテクノロジー、ナノ テクノロジー、ICT、エンジ ニアリングおよびエマー ジングテクノロジー	食文化を支える育種と一 次産業技術、発酵技術、計 測・センシング、画像・ロ ボット技術、木造建築技術
ビジネス的な 理解	一次産業、健康、製造業	アメリカ人の健康、化石資 源依存度低減、環境配慮、 製造業の転換、生産性向 上、雇用の創造	一次産業、バイオリファイ ナリー、バイオベースプロ ダクト	バイオ素材、バイオプラ、 一次生産、廃棄物処理、ヘ ルスケア、バイオ医薬、バ イオ生産、分析、大型建築
キーワード	課題に対処するためのバ イオテクノロジーの使用 を導くのに役立つ政策ア ジェンダを開発	R&D投資、バイオインベ ンション、規制の撤廃、人 材育成、産学官連携と協 調領域サポート	Horizon2020との連携、ス テークホルダーエンゲー ジメント、地域育成、国際 協力	多様な生物資源、高齢化 の先駆け、国土2/3の森林、 Society 5.0実現

出典 公表資料より著者作成

第2表 バイオエコノミーに関する主だった世界と日本の動き

西暦	世界の動き	国内の動き	主な出来事
1972	国連人間環境会議		札幌オリンピック
1973	第一次オイルショック		
1974		サンシャイン計画開始	
1978		ムーンライト計画開始	
1979	第2次オイルショック		
1980		NEDOの設立	
1990	湾岸戦争(ミニオイルショック)		
1992	国連環境開発会議(地球サミット)開催・リオ宣言	サンシャイン計画終了	
1993		ニューサンシャイン計画開始	
1995			阪神淡路大震災
1997	京都議定書が国連気候変動枠組条約締約国会議COP-3で採択	新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)施行	
2000		ニューサンシャイン計画終了	
2002	EUのCell Factoryプログラムで新薬、食品、生分解素材、酵素等が研究開発対象に指定	バイオマス・ニッポン総合戦略 バイオテクノロジー戦略大綱	
2004	OECDがBiotechnology for Sustainable Growth and DevelopmentにてBiobased Economyを定義		
2005	EU研究コミッショナーがバイオエコノミーのコンセプト発表 京都議定書発効	バイオマスタウン公表開始	京都議定書発効
2006		バイオマス・ニッポン見直し	
2007	ドイツがEn Route to the Knowledge Based Bioeconomy報告		
2008	バイオテックカナダがバイオテクノロジー戦略発表	ドリームBTジャパン	リーマンショック
2009	OECDがThe Bioeconomy to 2030発表	バイオマス活用基本法	政権交代
2010	ドイツでバイオエコノミー研究戦略発表	バイオマス活用基本計画作成	
2011	EUでHorizon2020を発表	総務省バイオマス利活用に関する政策評価書作成	東日本大震災
2012	国連持続可能な開発会議(Rio+20) EUでバイオエコノミー戦略発表 米国でNational Bioeconomy Blueprint発表	固定価格買取(FIT)制度開始 バイオマス事業化戦略	政権交代
2013	ドイツ、オランダ、ブラジル、南アフリカ、マレーシア、スウェーデン、ベルギーが政策発表	バイオマス産業都市選定開始	
2014	フィンランド、スウェーデンが政策発表		衆議院選挙
2015	持続可能な開発目標SDGsが国連サミットで採択 第一回グローバルバイオエコノミーサミット開催 パリ協定が国連気候変動枠組条約締約国会議COP-21で採択 スペイン、インドネシアが戦略発表	日本再興戦略	
2016	インド、タイ、イタリア、ノルウェーが戦略発表 米国が政策レビュー	地球温暖化対策計画 バイオマス活用基本計画変更	
2017	フランスがバイオエコノミー戦略発表 欧州で政策レビュー	未来投資戦略にバイオ・マテリアル革命が記載	米国の政権交代 衆議院選挙
2018	第二回グローバルバイオエコノミーサミット開催 欧州が新バイオエコノミー戦略発表 英国が戦略発表	統合イノベーション戦略にバイオに関する記載	自民党総裁選
2019	カナダがバイオエコノミー政策発表 欧州がGreen Deal発表	バイオ戦略2019公開	参議院選挙
2020	ドイツが新戦略発表 米国ホワイトハウスで米国内バイオエコノミーを議論 第三回グローバルバイオエコノミーサミットWeb開催	バイオ戦略2020 菅総理が2050年カーボンニュートラル宣言	コロナウイルスによる経済停滞
2021	欧州でHorizon Europe開始 Circular Biobased Europe稼働	みどりの食料システム戦略 地域バイオコミュニティ選定	米国の政権交代 東京オリパラ
2022	米国バイオエコノミーのためのバイオテクノロジーとバイオ製造のイノベーションの促進に関する大統領令	新たな「バイオマス推進基本計画」閣議決定 グローバルバイオコミュニティ選定	

資料 アグリバイオ2019を加筆改変(藤島 2019)

2 欧州の政策

EUのバイオエコノミー戦略は12年に発表され、18年に改訂版が発表されている。

(1) 戦略の背景

この戦略につながる考え方は欧州委員会の研究イノベーション枠組みプログラム(Framework Programme、FP)にて00年頃から議論されている。98~02年の研究イノベーションFP5において、イノベティブな製品・プロセス・サービスを行うためにCell Factoryと称する活動で、生物機能を利用してつくる医薬品、食品、難分解性化合物、酵素など開発することが4億ユーロで開始されることに始まる。この頃から欧州テクノロジープラットフォームが意識され、植物、漁業、木質由来製品に関する研究領域が定義された。政策面においてもリスボン宣言にて、知的エビデンスのある経済の推進であるKnowledge Based Economyが掲げられた。

より具体的な内容の議論については05年にブリュッセルで行われた、New Perspective on the Knowledge Based Bioeconomyの会議にてバイオエコノミーのコンセプトが定められた。この後、10年には欧州のレポートとしてヨーロッパバイオ、ドイツのノバインスティテュートなどが協力し、The Knowledge Based Bio-Economy (KBBE) in Europe: Achievements and Challengesと言う欧州政府への提言レポー

トが執筆された。欧州域のそれまでの科学技術政策に基づく活動を評価しつつも、対応しなければならない課題について列挙し、欧州としての対応を促すものであった。レポートにおいては食品および非食品分野への持続可能な原料供給、組換え動物のアクセプタンス向上、健康領域/食事と栄養関連疾病の研究開発の必要性、新規食品の認定に関する仕組み、気候変動下における食糧安全保障の在り方、バイオモノづくりのための研究開発、バイオリファイナリーのためのパイロットやデモプラントの必要性、これらを行うための政策の枠組みの必要性が論じられた。

これらを経て欧州として最初のバイオエコノミー戦略は12年につくられ、動物、植物、微生物、バイオマス誘導体、有機廃棄物の利活用、陸上、海のエコシステム、産業セグメントとして、食品、飼料、バイオモノづくり、エネルギー関連等を重要なキーワードとして議論されている。

(2) 政策としての実施項目

- ① 研究イノベーション・技術への投資としてのEUおよび加盟国へのファンディングと民間投資の確保、周辺分野との連携イノベーション拡大、イノベーションの普及促進、産業の拡大、統合するための人材育成
- ② 政策間の相互強化とステークホルダー関与においては、政策間の一環性、情報システムの連携を通じた観測、地域と国ごとの政策策定サポート、国際的なネット

ワーク

③市場拡大と競争力強化においては一次産業の持続可能な強化のための知識ベース提供、バイオリファイナリー（バイオマス由来の燃料・化学品製造）、デモ・パイロットプラントのロジおよびネットワーク構築、食品の市場拡大、サステナビリティ認定、優先調達をサポート、消費者理解向上等

これらが挙げられ、それぞれ実行に移された。

欧州のバイオエコノミーは第3表にあるような事業セクターを強化することを目的とするが、その特徴としては、ヘルスケアにおける位置づけがバイオエコノミーの枠から外れているということがある。すなわち、医療や健康についての取組みは別予算ということが進められている。

おおむね順調に進んでいたが、FP8（2014-

2020、いわゆるHorizon2020）の終わりにかけてバイオエコノミー活動のレビューが行われ、バイオモノづくりの強化、ローカルレベルでの成長のための雇用やスケールアップ、環境保護と生物多様性強化などを含む新しい戦略が18年に発表された。

(3) 現在の取組み

現在のバイオエコノミーはHorizon Europe（2021-2027、FP9に相当するプログラム）のなかで、食品、バイオエコノミー、天然資源、農業、環境領域のグローバルチャレンジの解決や競争力強化を行う柱の一つとして進められている。気候影響を中和させ、公平かつ厳粛なサーキュラーエコノミーとバイオエコノミーを目指すこととしており、グリーンディールをサポートするものである。

産業との連携についても精力的に進められている。資金団体としてはHorizon2020の頃にはバイオベースインダストリージョイントアンダーテイクング（Bio-Based Industry Joint Undertaking、BBI-JU）、また現在のHorizon Europeではサーキュラーバイオベースヨーロッパジョイントアンダーテイクング（Circular Biobased Europe Joint Undertaking、CBE-JU）（注1）が欧州政府から予算を獲得し、業界団体であるバイオベースインダスト

第3表 2012年時点のEUのバイオエコノミー市場

セクタ	取引額/ billion €	雇用/千	情報
食品	965	4,400	CIAA
農業	381	12,000	COPA-COGECA, Eurostat
紙/パルプ	375	1,800	CEPI
林業/製材	269	3,000	CEI-BOIS
水産業、養殖	32	500	EC
バイオベース産業			
バイオケミカル、 プラスチック	50	150	USDA, Arthur D, Little, Festel, McKinsey, CEFIC
酵素	0.8	5	Amfep, Novozymes, Danisco/Genencor, DSM
バイオフューエル	6	150	EBB, eBio
合計	2,078	22,005	

出典 2012欧州のバイオエコノミー戦略

リーコンソーシアム（Bio-Based Industry Consortium、BIC）（注2）と連携して事業開発につながる研究イノベーションを推進している。

BICはバイオ社会実現のための業界ニーズや50年までのビジョンをまとめ、欧州委員会に提言を行っている。参考までに医療系バイオテクノロジーの推進についてはBICの兄弟的な団体である、ヨーロッパバイオ（Europabio）（注3）がその役割を担っている。

BICの提言を受けて欧州委員会は取り組むべき課題を設定し、予算を編成し、CBE-JU（かつてはBBI-JU）が予算執行機関として、課題（プロジェクト）に対する実施者を募集、選定を行い、予算をつけている。テーマの種類としては食品と飼料、パッケージング、バイオプラスチック、循環の加速、持続可能な農業、持続可能な化学、コスメとパーソナルケア、家具、繊維等を対象としている。プロジェクトのタイプとしては、研究イノベーション、デモ（検証・実証）、フラッグシップ（工業化実証のための最初の工場建設）がある。バイオマスとしては、農業/食品由来、海産物由来、森林由来、廃棄物由来などに分別される。これらの組み合わせで新規産業を作るためのプロジェクトとして提案させ、純粹なる供与、あるいはマッチングファンドとしての供与を行う仕組みである。

このように欧州はEU全体としての加速領域を上記のような形で取組むが、加盟国においても独自の課題を解決するような取

組みを行っている。それぞれの国の情報は欧州委員会のナレッジフォーポリシーのナレッジセンターフォーバイオエコノミーというサイトに詳しい。各国の国家戦略情報、実施を担当する省庁、関連する政策、経済的な寄与、雇用、バイオエネルギー生産、微細藻類の生産、木質バイオマスの内訳・用途などの情報が入手できる。欧州でバイオエコノミーをリードしてきたドイツ、オランダ、フィンランドについては特に注目するに値する。

（注1）<https://www.cbe.europa.eu/>（23年6月19日最終アクセス）

（注2）<https://biconsortium.eu>（23年6月19日最終アクセス）

（注3）<https://www.europabio.org/>（23年6月19日最終アクセス）

3 米国の政策

米国についてもホワイトハウスよりバイオエコノミー戦略が発表されたのは12年であった。

(1) 戦略の背景

米国においては農務省やエネルギー省が、バイオマス活用やバイオ燃料に関する政策を過去からつくり実行してきた。

バイオ燃料については、余剰に生産された農作物を用いてつくるという政策から始まった。エネルギー省によるThe Energy Independence and Security Act of 2007では、22年までに360億ガロン（1億700万トン）の再生可能燃料をつくり、それによりきれいな空気と水を得ること、人の健康、

ウェルビーイングに貢献するとしていた。バイオ由来の化学品市場を増加させ、併せて農学、生化学、エンジニアリングなどの分野のリンケージへと発展することを想定していた。

また、エネルギー省は00年に作成したAgricultural Risk Protection Act of 2000の中のBiomass Research and Development Act of 2000で10億トンのバイオマス活用に関する議論が始まった。その後、農務省と共著で書かれた05年のBiomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproduct Industry: The Technical Feasibility of a Billion Ton Annual Supply、11年のBillion Ton Updateで彼らの考え方がブラッシュアップされた。10億トンのバイオマスを用いた事業育成により130万人の雇用創出、920億kWhの電気をつくり、600億ガロン（1億7,800万トン）の燃料の生産で30%の化石燃料を削減し、500億ポンド（2,270万トン）の再生可能化学品を作り、トータルとして5億トンのCO₂削減に貢献するものとしていた。

(2) 政策としての実施項目

前記を背景とし、農林業やエネルギー産業、バイオモノづくりについて、12年のBlueprint政策につながったと考えられる。この政策はオバマ政権下で作成され、バイオテクノロジーの急激な進展によるバイオエコノミーの可能性が非常に大きく、人々の生活改善に寄与するものとして位置づけられている。そして①R&D投資のサポート、②バイオ研究成果を市場につなげる仕

組み、③規制による障壁を開発と改革で減らす、④人材育成を行う、⑤産官の共同枠組みを具体的な施策としていた。

そして16年にはBillion Ton Report - Advanced Domestic Resources for Thriving Bioeconomyとして政策のレビューが行われ、その後の展開が期待されたが、政権交代後のトランプ政権下では化石資源産業保護がみられ、バイオエコノミーの動きが低下したかにみられた。

しかしながらトランプ政権下の任期後半である19年10月にはホワイトハウスにてアメリカのバイオエコノミーを議論する国内サミットが行われた。このイベントの第1部では関連する政府高官に加え、エネルギー省、国防省、保健福祉省、財務省、ホワイトハウス国家経済会議が政府機関として参加し、農業、ヘルスケア、国防、国土安全保障、経済発展が議論された。第2部ではデュポン、ギンコーバイオワークス、バイオエコノミーキャピタル、半導体研究所や大学関係者などが参加して産業やアカデミアの展望を議論した。このようにトランプ政権下でもバイオテクノロジー、バイオ産業においてEngineering Biology Research Consortium (EBRC) (注4) やBioMADE (注5) とよばれる取組みにより、合成生物学を中心とする技術開発が進められていた。

(注4) <https://ebrc.org/> (23年6月19日最終アクセス)

(注5) <https://www.biomade.org/> (23年6月19日最終アクセス)

(3) 現在の取り組み

21年に始まるバイデン政権では、20億ドルを超える大幅な投資によるバイオエコノミー推進のための大統領令が22年9月に出され、低価格なバイオプロダクト、雇用創出、サプライチェーン強化、健康増進、炭素排出の削減が盛り込まれた。また、生産物の低価格化、モノづくりへの支援、イノベーションの加速、市場への導入、人材育成、規制改革、基準の確立、セキュリティおよびデータの共有の重要性が意識されている。

全体の方向として低価格実現、雇用創出、サプライチェーン強化、健康増進、炭素排出削減を行っている。そのために、保健社会福祉省は4千万ドルを投じ、医薬品、抗生物質の開発を行うとしている。また、国防総省は2億7千万ドルを5年間にわたり投じ、バイオベース素材を防衛に生かすサプライチェーンを構築し、エネルギー省は、運輸省、農務省と連携して10億トンのバイオマスを燃料、化学品、素材利用にするサプライチェーンを構築するとした。

バイオモノづくりの促進において、国防総省は10億ドルを5年間で投じバイオ産業の製造ベースとなるインフラ構築を行う。別途2億ドルをバイオセキュリティとサイバーセキュリティに充てる。農務省は5億ドルを投じて農民に提供する肥料の開発をすすめている。

米国内でのイノベーション推進のために、国立科学財団は地域イノベーション創出に向けた競争資金提供を発表し医薬品の開発、

廃棄物の削減、気候変動の抑制を目指すとした。USDAは木材イノベーションのために3,200万ドルを拠出することを22年5月に発表済みであるが、さらに9,300万ドルのパートナーファンドを創設し、新しい木質材料を開発する。エネルギー省は1億7,800万ドルを投じ、先進的なイノベーション研究をバイオテクノロジー、バイオプロダクト、バイオ素材分野で行う。経済開発局の10億ドルのBuild Back Better Regional Challengeでは、2億ドル以上を投資してバイオエコノミーを推進する。

バイオプロダクトを市場導入することについて、エネルギー省は1億ドルを研究開発費に充て、バイオマスを燃料、バイオプラスチックのリサイクルも含む化学品に充てる。別途600万ドルをスケールアップのリスク低減に充て、バイオリファイナリー実現による気候変動の抑制を行う。農務省はすでに16,000品目ある優先調達プログラムBioPreferred Program（注6）を拡充させるために1,000万ドルを充て、スケールアップに伴う課題をサポートする。国防総省の活動であるManufacturing USA institutesのBioFabUSA（注7）およびBioMADE、商務省による製造技術革新機構（NIIMBL）にて再生医療、バイオ製造産業、バイオ医療のためのイニシアチブを開始し、200以上の企業、大学、NPOをパートナーとして連携するとしている。

次世代人材の育成について、国立衛生研究所（NIH）はI-Corps（没入型の学習体験）の拡大を通じアントレプレナーブート

キャンプを行う。製造技術革新機構ではeXperience事業を継続し、バイオ医薬業界への夏季浸透プログラムを全米黒人エンジニア協会とのパートナーシップで行う。農務省は6,800万ドルを投じ、次世代研究開発を農業、食品領域で行うとした。

バイオ製品へのアクセスを増やすための規制改革として、食品医薬品局（FDA）は規制科学、技術ガイダンス、およびこれらの新興技術の活用を求める業界との関与の強化を通じて、高度な製造をサポートする取組みを先頭とする。NIHはAccelerating Medicines Partnership® Bespoke Gene Therapy Consortium で、製造と規制の枠組みを合理化し、異なる希少疾患に焦点を当てた臨床試験をサポートする。農務省は農業および代替食品における安全な革新を促進するための新しい規制プロセスを構築し、より多様な製品を審査できるようにした。

バイオエコノミーの高度な測定と基準の作成のために、商務省は国立標準技術研究所に1,400万ドルを投資して、バイオエコノミーの測定技術、標準、データを開発する研究プログラムを計画している。

リスク低減のためのバイオセキュリティイノベーションへの投資においては、エネルギー省は国家核安全保障局において2,000万ドルの予算規模新しいバイオ保証プログラムを開始し、バイオテクノロジーとバイオ製造のリスクを予測、評価、検出、軽減する能力を向上させ、バイオセキュリティをバイオテクノロジー開発に統合する。

医療領域データ共有については、NIHにおいてがん研究データエコシステムを拡大し、データ共有を一層促進させ、個々の患者のがん治療をサポート、新しい治療法の発見を可能にする国家データインフラを構築する。また、農務省はNIHと協力して、持続的な貧困に関するデータをがんの監視と統合できるようにする。国立科学財団は2,000万ドルを投じた新しい生物科学データセンターのコンペを発表。小規模での生物システムの理解を深め、農業、医療、健康、材料を製造するための新しいバイオテクノロジーデザインを行うとしている。

(注6) <https://www.biopreferred.gov/BioPreferred/> (23年6月19日最終アクセス)

(注7) <https://www.armiusa.org/biofabusa/> (23年6月19日最終アクセス)

4 日本の政策

(1) 戦略的背景

日本の脱化石資源経済への取組みは欧米よりも早く、二度のオイルショックがあった70年代に石油枯渇への対応で対策が求められ、太陽光発電などをはじめとするサンシャイン計画、省エネ製品のための技術開発を中心とするムーンライト計画が行われた。さらにはバイオマス活用による発電技術なども80年代にニューサンシャイン計画の一部として取り組まれた。国際政治的にも気候変動枠組み条約国会議にて京都議定書の作成、発行、批准を行うことにより計画に沿ったCO₂排出削減に取り組んできた。

実質的なバイオエコノミーに相当する戦

略は02年から始まるバイオテクノロジー戦略大綱やバイオマス・ニッポン総合戦略により取組みを他国に先駆けて進めてきた。前出の09年のOECDのレポート作成についても、日本から代表を選出してリアルタイムで情報が入手できる立場にあった。しかしながら08年にリーマンショックが起これ、産業界が止まり、09年に政権交代、11年に東日本大震災、12年に再度の政権交代が起これることで政治や経済が大混乱し、バイオエコノミーとしての戦略策定は他国に遅れていた。

15年から一般財団法人バイオインダストリー協会（JBA）に事務局を置く日本バイオ産業人会議（JABEX）が、バイオ産業の健全な発展を目指すために産業界のメンバーに声をかけ、医療ヘルスケア、モノづくり、農林業の3つのサブグループに分け、日本が30年にむけて目指すべき未来社会を議論した。それらをまとめた「進化を続けるバイオ産業の社会貢献ビジョン」を16年3月に発表した。そして幾度も政策対話を経て、内閣府の取りまとめで「バイオ戦略」が19年に発表された。

（2）政策としての実施項目

バイオ戦略は「2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現すること」を目標に、持続可能性、循環型社会、健康をキーワードに産業界、大学、自治体等が参画し推進することとしている。30年まで毎年計画を見直すことで改善を進める。育成すべき市場領域として①高機能バイオ素材、

②バイオプラスチック、③持続的・一次生産システム、④有機廃棄物・有機排水処理、⑤生活習慣改善ヘルスケア、機能性食品、デジタルヘルス、⑥バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業、⑦バイオ生産システム（バイオファウンドリ）〈工業・食品生産関連（生物機能を利用した生産）〉、⑧バイオ関連分析・測定・実験システム、⑨木材活用大型建築・スマート林業、が挙げられている。

農林水産業関連の領域を具体的に見ると③持続的な一次生産システムにおいては、急激な経済成長を遂げるアジア・アフリカでは、農業の生産性向上が求められるとともに、よりおいしい食などニーズの多様化が予想されること、また、気候変動・環境問題が深刻化する中で、持続的な一次生産（肥料、水、労働力等の最適利用、廃棄物・排水処理から生産される堆肥の循環利用など）が必要なことが背景として挙げられている。その対応として日本が育種に不可欠な世界トップレベルの遺伝資源を保有するとともに、世界レベルのスマート農業技術・システムを構築できていることを生かして、多様なニーズに対応した持続的な一次生産の実現が可能としている。スマート育種により、多様なニーズに対応し、気候変動に強い品種等を開発するとともに、スマート農業技術・システムを組み合わせることで世界市場を獲得することを目指している。

⑤機能性食品開発においても、世界的に生活習慣病が増加する中、世界の健康関連市場が拡大、東南アジア等健康保険制度が

発展途上にある国においては、医療に依存せず健康を維持・増進するニーズが高まり、健康に良い食は極めて有望な市場と考えられている。

⑥日常生活から医療まで様々なデータを取得し活用するヘルスケア市場・医療は欧米を中心に各国が着目し、ウェアラブルデバイス・アプリ等のデジタル技術を使ったサービス・機器の開発や、診断・治療法の研究開発が活発化する見込みである。健康長寿国である日本の生活習慣と健康に関するデータ、我が国の医療現場に存在するリアルワールドデータの良質さ・豊富さ、日本食等健康長寿に資する食・飲料は有望な資源とし、これまで分散し眠っていた健康・医療関連データをビッグデータ化し、バイオテクノロジーと組み合わせることや、健康に良い食の解明・開発とそのオーダーメイドな提供を通じて、本市場領域を発展させる。健康・未病段階のセルフケア・早期発見、代謝異常に備えた予防、臓器障害における治療と重症化・再発予防を切れ目なく行う社会システムを世界に先駆けて実現し、世界市場を獲得。「AI ホスピタルシステム」も事業化し、新市場を創出することを目指している。

⑨木材活用大型建築、スマート林業においても建築物の木造化、木質化は、温室効果ガス削減効果が極めて高いことから、その可能性が着目されており、欧州、北米を中心に木造高層ビルの建設に官民を挙げて挑戦されてきている。鉄、コンクリート代替としての木材需要の増大が予想される中、

我が国の木材自給率はここ15年間でほぼ倍増し、木材輸出も増加している。戦後開始した植林による人工林は、20年には約7割が主伐期を迎えると見込まれるなど、林業・木材加工も成長産業化の兆しがあるとともに、スマート林業に将来性あるとみている。日本の伝統ある木造建築技術、世界から評価される美しい設計、正確な施工管理、耐震技術を強みとして、木材活用大型建築を国内において普及させ、木造住宅の輸出による海外市場を獲得すること。さらには将来的には木材活用大型建築の拡大を見込んでいる。

5 日本のバイオエコノミーと農林水産業

バイオ戦略のなかでは持続的・一次産業、有機廃棄物・有機排水処理、機能性食品、木材活用大型建築、スマート林業などは農林水産業に直接関連している。新たな「バイオマス活用推進基本計画」、みどりの食料システム戦略（注8）はバイオエコノミー活動に向けた取組みそのものであると言っても過言ではない。

バイオエコノミーの実現にはサステナブルであり、さらにはネーチャーポジティブを目指す活動が一次産業を起点とするサプライチェーンで行われることが必要である。生産の効率化、気候変動等でも耐えられる品種改良などは川上における必須条件と考えられる。川下の農林水産物加工による付加価値化、鋳工業産業における製品化はど

れも他産業に向けたバイオエコノミー活動と言える。

世界の化石資源の9割はエネルギー用途として使われ、残りの1割がモノづくりに利用される。持続可能な社会づくりに向けてエネルギーはバイオマス発電をほかの自然エネルギーと組み合わせることが考えられる。モノづくりにおける原料は農林水産物を有効活用すること、廃棄物の循環利用を行うことを通じて化石資源からの脱却が必要である。

02年のバイオマス・ニッポン総合戦略については、ドイツの教育科学省の下部機関であるバイオエコノミーカウンシル（注9）のG7を研究したレポートによると、日本には実質的なバイオエコノミー戦略が存在するとしている。また、OECDのバイオ・ナノ・コンバージングテクノロジー作業部会のバイオエコノミー担当者も、日本のバイオマスタウンやバイオマス産業都市はバイオエコノミーが目指す地産地消のモデルであるとしている。どちらの施策も欧米を参照するような接点はなかったものの、目指すところは同じものとみられていた。

第1表のとおり、バイオエコノミーが目指すものに大きな違いはない。循環型社会構築のためには、農林水産物を起点としたサプライチェーン構築が必須である。循環型社会という言葉や排水については環境省、また下水汚泥については国土交通省に限ることなく、日本の持てるすべてを一次産業のために活用するような食料・農業・農村基本法の改定ができると望ましい。

(注8) <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/> (23年6月19日最終アクセス)

(注9) <https://www.biooekonomierat.de/en/> (23年6月19日最終アクセス)

6 政策とサステナビリティに関する考察

欧州のバイオエコノミー戦略の位置づけとしては加盟国の方向性を合わせるツールとして使われ、また他の先進国に対しては欧州市場への産業障壁、そして途上国に対しては欧州流の政策を学び実行するための教科書として従わせようとする。

一方で米国の戦略は最先端の技術から生み出される新産業を武器として、脱化石資源経済においてもリーダーシップをとって行こう、というものに見える。そのためにもエネルギー産業をバイオベースにシフトさせ、バイオマスは発酵技術を活用するバイオモノづくりを成長の柱にして行きたいように見える。

そのようななかで、日本はOECDや海外の政策を参考にしながらも独自の考え方を先進国の一つとして作ろうとするものに見える。欧米とは異なり、日本は過去から自然との共生が基本的なライフスタイルであり、モノを大切に（裏返すともったいない、というコンセプトをもつ）文化がある。日本酒は2000年を超える歴史があり、味噌や納豆は1200年、加賀藩秘伝の爆薬製造は江戸時代からあった。どれもが生きるための自然の知恵を利用したバイオテクノ

ロジックと言えるものであり、その過程で得られた麹菌や枯草菌の無毒化は世界に例をみないものである。

現代に目を向けるとアミノ酸の発酵生産は年間100万トンを超える量を日本の会社はつくり、また人工臓器もiPS技術により培養でつくり出すことができる。このようなことはバイオエコノミーを語る前から日本はできていた国である。

そもそも産業革命前の江戸時代はバイオエコノミー社会であり、3,000万人と言われる国民が輸出入なしで暮らしていた。今と比べれば大変質素な暮らしであったと言えると思うが、冷害、火山活動、長雨等で農業が成立しなかったこと以外はその当時の技術でも自給は可能であった。江戸の町でも引力のみを用いて上下水を完備させ、下肥として糞尿の循環を都市と周辺農家で成立させていた。

現代の日本は江戸時代末期から比べると

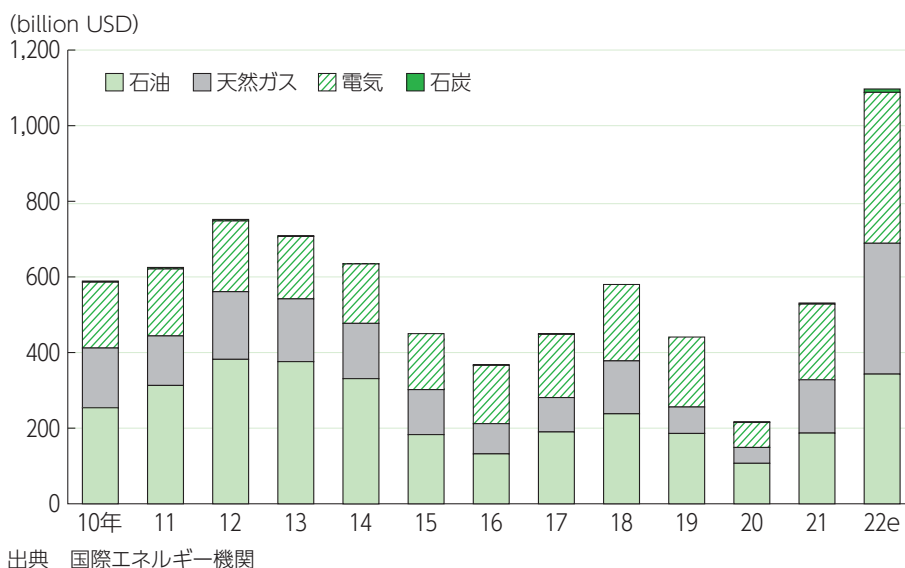
人口は4倍であり、それを保つインフラは比べ物にならないほど充実している。現在の科学的知見を持ってすれば、充実した国民生活をバイオエコノミーで維持できると信じていたい。

さて、バイオエコノミーもそうだが、サステナブルな社会へのシフトは何と戦っていると考えられるだろうか。バイオエコノミーは気候変動や生物環境に配慮することをベースとして、化石資源社会に対する見直しを迫るものと理解できる。

では、化石資源社会を保護するような動きはどのようになっているだろうか（第2図）。国際エネルギー機関（IEA）が発表した化石資源エネルギーの補助金についての情報をみると22年の見込みは21年に比べほぼ倍となっている。

ロシアのウクライナへの侵略が欧州の天然ガスの高騰を招き、そのための代替手段を探していたことは記憶に古くないが、バ

第2図 化石資源に対する補助金の推移



イオエコノミーへのシフトを本来ならば加速するチャンスであったが、急ぎの課題を解決するために各国は税金を投入してエネルギー危機を回避する対応が行われた。化石資源をベースとする経済社会からの脱却のためには短期的な痛みを受け入れて、バイオエコノミー社会へのシフトを今こそ加速すべきであると考えたい。

おわりに

言葉としてはなじみの薄いバイオエコノミーであるが、検討すべき社会の在り方はこれまでに日本で考えられてきたものとかげ離れたものではないと考えられる。つまりは海外の事例を有り難がったり、真似したりする必要はない。

脱化石資源を基本とする世界を思考しようとする、化石資源の9割を占めるエネルギー用途を再生可能エネルギーに転換しなければならない。そのためにはコストの下がった太陽光発電、風力発電を効果的に活用することが必要である。余剰電力については蓄電、水素生産、揚水などによるエネルギーやエネルギー物質の保存が重要になる。モビリティの燃料においても蓄電した電気、エタノール、バイオディーゼルなどの積極的な活用を望みたい。

食品を支える農業に必要となる要素はリン、カリ、窒素の自給が基本であると考えられる。リン鉱石がない日本としては積極的（さらには義務的）に汚泥からリン回収を行うべきと考える。汚泥を積極的な嫌気

発酵でメタンを回収、発電に回し、残る残渣からリンを回収すれば可能となる。単なる下水処理であった施設をエネルギー資源回収施設として再構築させることはリン資源を対象とした場合には極めて理にかなうと考えられる。カリウムについては国際的な不足はないものの、自給するとなると汚泥由来に加え、植物由来の灰を回収することが必要量確保に近づくことと考えられる。燃焼を伴うプロセスであるので、熱は発電、加温などの用途と組み合わせることでエネルギーニーズを満たすためにもバイオマスの活用を望みたい。排出されるCO₂についても園芸用ハウスでの積極的な活用が望ましい。

窒素については、尿素が基本となる物質と考えられるが、その前段階としてアンモニアの製造がハーバーボッシュ法、あるいはそれに代わる再生可能水素を用いることで自給は可能となる。必要量を必要な場所で得るためのオンサイトアンモニアも可能になりつつある。ここでも木材をガス化することにより、バイオ水素をつくることで環境配慮型のアンモニアの製造は可能だと思われる。炭素成分についてはバイオ炭として農地への散布を行えばよい。

建築については、木材の多用を推奨されるべきである。皆伐が必要な森林は数多くあり、炭素固定の観点からも適当な木樹への植え替えは必須である。

衣類についても綿、麻、絹等はもちろんのこと、ナイロンやポリエステルにおいても少々割高になるがバイオベースの化学品

からつくることは十分可能である。

資源循環の取組みを国のリーダーシップは必要ながらもローカルレベル（市や県単位、地方ごと）でどのように進めるべきかを議論することは今後も課題である。部分的でも地域完結な循環が行われると大変望ましいと考える。農林水産省が進める「バイオマス産業都市」（注10）、内閣府が進める「地域バイオコミュニティ」（注11）、経済産業省を中心として進められている「グリーンイノベーション」（注12）などを活用し、それぞれの地域に合った仕組みが構築されると日本のバイオエコノミーが加速するものと考えられる。

農林水産業からは食料や木材の供給にとどまらず、エネルギーや鉱工業に一次産業産物が安定供給できるようになることが、国全体としてのレジリエンスを上げることにつながると考えられる。そのようなマスタープランを各方面で議論し、関連する産業を構築していければ日本の成長のみならず、仕組みとしての輸出も可能となると考えられる。

(注10) https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_sangyo_toshi/b_sangyo_toshi.html (23年6月19日最終アクセス)

(注11) https://www8.cao.go.jp/cstp//gaiyo/yusikisha/20211223_1/siryu2-5.pdf (23年6月19日最終アクセス)

(注12) https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2023/pr/gx.html (23年6月19日最終アクセス)

<参考文献>

- Department of Energy (2000) "Biomass Research and Development Act of 2000," [energy.gov/eere/bioenergy/downloads/](https://www.energy.gov/eere/bioenergy/downloads/)

- biomass-research-and-development-act-2000
- EUROPEAN COMMISSION (2010) "The Knowledge Based Bio-Economy (KBBE) in Europe: Achievements and Challenges," <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/7918>
- EUROPEAN COMMISSION (2012) "Innovation for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe," <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f0d8515-8dc0-4435-ba53-9570e47dbd51>
- EUROPEAN COMMISSION (2022) "Knowledge Centre for Bioeconomy," https://knowledge4policy.ec.europa.eu/bioeconomy/bioeconomy-strategy_en
- IEA (2023) "Fossil Fuels Consumption Subsidies 2022," <https://www.iea.org/reports/fossil-fuels-consumption-subsidies-2022>
- OECD (2019), "The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda," <https://www.oecd.org/futures/long-term-technological-societal-challenges/the-bioeconomy-to-2030-designing-a-policy-agenda.htm>
- The Federal Government (2021) "National Bioeconomy Strategy," https://biooekonomie.de/sites/default/files/2021-03/BMBF_National_Bioeconomy_Strategy_en_barrierfree.pdf
- THE WHITE HOUSE WASHINGTON (2012) "NATIONAL BIOECONOMY BLUEPRINT," obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf
- THE WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE and TECHNOLOGY POLICY (2019) "SUMMARY OF THE 2019 WHITE HOUSE SUMMIT ON AMERICA'S BIOECONOMY," <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2019/10/Summary-of-White-House-Summit-on-Americas-Bioeconomy-October-2019.pdf>
- U.S. Department of Energy (2016) "Billion Ton Report -Advanced Domestic Resources for Thriving Bioeconomy," <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/2016-billion-ton-report>
- U.S. Department of Energy (2011) "Billion Ton Update,"

https://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/billion_ton_update.pdf

- 首相官邸 (2002) 「バイオテクノロジー戦略大綱」
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/998223/www.kantei.go.jp/jp/singi/bt/kettei/021206/taikou.html>
- JABEX日本バイオ産業会議 (2016) 「進化を続けるバイオ産業の社会貢献ビジョン」
https://jabex.jp/wp-content/uploads/2021/07/JABEX_vision160509.pdf
- 統合イノベーション戦略推進会議 (2019) 「バイオ戦略2019—国内外から共感されるバイオコミュニティの形成に向けて—」
https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/bio2019_honbun.pdf

- 農林水産省 (2006) 「バイオマス・ニッポン総合戦略」
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/biojapan.html>
- 農林水産省 (2022) 「新たな「バイオマス活用推進基本計画」の閣議決定について」
https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/220906.html
- 藤島義之・五十嵐圭日子 (2019) 「ヨーロッパのバイオエコノミーはどこから来たのか?」『アグリバイオ』、Vol. 3 (2)、33~36頁

(ふじしま よしゆき)

