

遺伝子組換え樹木をめぐる現状と課題

——EUの動向を中心に——

藤岡 典夫

要 旨

遺伝子組換え樹木（GM樹木）は、地球規模での環境問題の解決や木質資源の安定的な確保等への貢献が期待され、世界各国において試験栽培が盛んに行われつつあるが、商業栽培は米国と中国で始まったばかりで、まだ限定的である。一方で、GM樹木には環境面その他への悪影響も懸念されている。現段階では必要な科学的データが入手可能ではないことから、GM樹木のリスクには不確実性が高く、その利用には予防的アプローチをとるべきであると指摘されている。

商業栽培がまだほとんどないという状況を反映して、GM樹木に関する規制・制度は、環境問題にセンシティブな欧州でも現時点ではGMO一般の枠組みが適用されている。GM樹木はGM作物と同様に、場合によってはそれ以上に倫理的問題等さまざまな問題があることから、政策決定者や企業等は、GM樹木の将来の方向の決定について市民を巻き込んだ形で作業を進める必要がある。

1. はじめに

遺伝子組換え（GM）技術は近年著しい進歩を遂げ、作物、医療その他幅広い分野に実用化されてきており、特にGM作物は、既に世界各地で広範に商業栽培されるに至った。本稿で採り上げるのは、森林・林業分野におけるGM技術の適用の状況である。GM樹木は、地球規模での環境問題の解決や木質資源の安定的な確保等への貢献が期待されており、具体的には、「地球温暖化を軽減するための二酸化炭素固定能が高い樹木や環境ストレス耐性樹木の開発、木質バイオマスを効率的にエネルギー化するためのバイオマス生産性を向上させた高セルロースや低リグニンという特性を付与した樹木の開発、花粉を着けない樹木の開発、病虫害に対する抵抗性が高い樹木の開発等」⁽¹⁾が挙げられている。

このような期待を背負ってGM技術の森林・林

業への導入に向けた研究開発がわが国を含め各国において進められている一方で、先行している作物の分野においては、この技術が欧州諸国やわが国等で市民の拒絶反応に遭遇しているのも周知のとおりである。GM樹木は、上記のような大きな期待の反面、GM作物と同様に、場合によってはそれ以上に生物多様性や環境への悪影響の懸念も指摘されており、今後の展開に当たってはこれらに対する安全・安心の確保が極めて重要な課題となる。

本稿は、わが国におけるGM樹木に関する今後の政策展開の上で参考になると思われる世界の現状や様々な論議を紹介するものである。まずGM樹木をめぐる全般的な状況として、GM樹木の栽培の現状及びGM樹木による環境等への影響に関する様々な意見を概観する。次に、欧州におけるGM樹木をめぐる政策・制度の現状を紹介する。最後に、GM作物との状況の相違を踏まえGM樹木の今後の展開に当たって必要となる対応につい

て述べる。

2. 諸外国における GM 樹木の栽培の現状

(1) 世界の概観

GM 樹木の野外試験その他研究開発や栽培への応用に関する世界の現状を網羅的に把握した文書や記録、データベース等は存在しない。データがやや古い、比較的よくまとまっているのが FAO (2004) である。これは、2004 年 1 月現在で各国の GM 樹木の野外試験に関する情報を公開のデータベースから収集・整理している。ただ、これらの試験の状況の詳細（実際に植栽されたのか、あるいは認可されたもののまだ植栽されていないのか）は判別できていない。以下この文書の主な内容を紹介する。

1) 国別の野外試験数

第 1 表は、国別の野外試験数が、「林木」と「果樹・観賞樹木」の 2 つのカテゴリ別に整理されている。

このうち、林木についてみると、米国が 103 件と大多数を占めている。次は中国の 9 件で、そのうち 2 つは世界初の商業栽培である（後述）。欧州は併せて計 23 件（英国 6 件、フィンランド 5 件、フランス 4 件、ドイツ 4 件等）となっている。

果樹・観賞樹木では、米国が 47 件、次いでイタリアが 8 件である。なお、この FAO(2004)には記述されていないが、以下で紹介するように、米国では GM パパイアの商業栽培が開始されている。

2) 対象樹種

第 2 表は、樹種別の野外試験数が、「林木」と「果樹・観賞樹木」の 2 つのカテゴリ別に整理されている。

第 1 表 GM 樹木の国別の野外試験数

国名	林木	果樹・観賞樹木
米国	103	47
中国	9	0
イタリア	0	8
英国	6	2
カナダ	7	0
ニュージーランド	3	3
フィンランド	5	0
ドイツ	4	1
フランス	4	0
オーストラリア	1	2
ブラジル	2	1
チリ	3	0
オランダ	0	3
ベルギー	0	2
タイ	0	2
ウルグアイ	2	0
インド	1	0
インドネシア	1	0
アイルランド	1	0
イスラエル	1	0
日本	0	1
メキシコ	0	1
ノルウェー	1	0
ポルトガル	1	0
南アフリカ	1	0
スペイン	1	0
スウェーデン	0	1

資料：FAO (2004).

第2表 樹種別の野外試験数

分類	樹種	野外試験数
林木	<i>Populus</i> ヤマナラシ属	82
	<i>Eucalyptus</i> ユーカリ属	34
	<i>Pinus</i> マツ属	31
	<i>Picea</i> トウヒ属	6
	<i>Betula</i> カバノキ属	3
	計	156
果樹・観賞樹木	<i>Malus</i> リンゴ属	33
	<i>Carica papaya</i> パパイヤ	18
	<i>Prunus</i> サクラ属	13
	<i>Olea</i> オリーブ属	2
	<i>Juglans</i> オオカミナスビ	2
	<i>Cyphomandra</i>	1
	<i>Belladonna</i> クルミ属	1
	<i>Citrus</i> ミカン属	1
	<i>Persea</i> アボカド属	1
	<i>Castanea</i> クリ属	1
	計	73

資料：FAO (2004).

林木では、ヤマナラシ属（ポプラ）がもっとも多く（82件）、ユーカリ属とマツ属が続く（各34件と31件）。果樹・観賞樹木では、リンゴ属がもっとも多く（33件）、パパイヤとサクラ属が続く（各18件と13件）。

3) 関係する形質

第3表は野外試験のデータベースから、導入される遺伝子と形質に関する包括的な情報を整理したものであるが、かなりの部分推測が含まれている。形質についてみると、林木においては、除草剤耐性がもっとも多く（41件）、害虫抵抗性（21件）とリグニン抑制（15件）が続く。果樹・観賞樹木では大いに異なり、微生物（ウイルス、菌、バクテリア）に対する抵抗性が最も多く（35件）、害虫抵抗性（11件）が続いている。

(2) 商業栽培の事例－米国と中国

1) 米国

世界で現在までに商業栽培が開始されたのは、米国と中国である。

CBD (2008)⁽²⁾によれば、米国で商業栽培されている品種は、パパイヤ輪点ウイルス（papaya ringspot virus: PRSV）に耐性を有するよう組み換えられたパパイヤである。現在ハワイの商業的果樹園において1,200エーカー以上のGMパパイ

ヤが栽培されている。また現在plum poxに耐性のセイヨウスモモについての申請を審査中である。

2) 中国

中国の状況については、山下(2009)から引用する。2002年に食葉害虫抵抗性を持つ2種類のポプラ（欧州黒ポプラ、741号ポプラ）が国家林業局から商業化植栽の許可を得た。欧州黒ポプラは商業化第1号の遺伝子組換え樹種で、現在、植栽面積は400ヘクタールに達している。また、PRSV耐性のGMパパイヤについては、2006年に農業部から商業栽培と販売が許可されている。ただし、実際に商業栽培が開始されているかは不明である（山下、2009、21-22ページ）。

3. GM樹木の環境等への影響に関する論議

CBD (2007)は、生物多様性条約締約国会議事務局がGM樹木の潜在的影響に関する情報を様々な文献から収集しまとめている。ここでは、この文書の内容を紹介する。

穀物種のために開発された遺伝子組換えは、樹木のために開発された技術と類似しているから、GM穀物に付随する環境影響その他の問題の多くは、GM樹木にも当てはまる。しかしながら、異なる点もいくつか存在し、GM樹木のもたらす影

第3表 野外試験に関する遺伝子と形質

形質	林木	果樹・観賞樹木	遺伝子
リポーター及びマーカー 遺伝子	43	2	<i>nptII</i> ; <i>uidA</i> ; <i>aphIV</i>
果実成熟	0	7	
ウイルス抵抗性	0	15	coat protein; PRSV replicase; <i>TaMV</i> coat protein
菌類抵抗性	2	17	cecropin; chitinase; defensin; <i>npr1</i> ; STS; oxalate oxidase; osmotin; attacin
除草剤耐性	41	1	
リグニン量の変化	15	0	4coumarate CoA ligase; CAD; OMT
硝酸還元酵素合成	4	0	
代謝産物	3	0	
重金属の植物による除去	5	0	mercuric ion reductase
バクテリア抵抗性	3	3	antimicrobial peptide; lysozyme
耐塩性	1	0	
発根	0	5	<i>rol</i>
エチレン生成	0		ACC synthase
植物の発達	9	2	
糖・アルコールレベルの変化	0	4	sorbitol dehydrogenase
ハロゲン化炭化水素の代謝	1	0	P450
不稔	3	0	diphtheria toxin A
果実熟成の変化	0	7	S-adenosylmethionine transferase
遺伝子発現の変化	1	0	
ポリフェノールオキシダ ーゼ量の変化	0	3	polyphenoloxidase
繁殖の変化（不稔以外）	5	0	
害虫抵抗性	21	11	<i>cry1Ac</i> ; <i>cry3A</i> ; hyoscamine 6 β -hydroxylase; agglutinin; chitinase; chitobiosydase
糖含量	0	1	

資料：FAO (2004).

響に関する研究はまだ不十分な状況とされているようである。以下、環境、社会経済、文化という3点に分けてGM樹木の潜在的影響（プラス面とマイナス面とがある）をめぐる様々な議論を概観する。

(1) 環境への影響

GM樹木による環境への影響についての議論を、導入される形質の種類ごとに紹介していくことに

する。

1) リグニン含量の増減

リグニン含量を減らすことによるメリットとしてまず挙げられている点は、セルロースを加工するために必要な化学薬品やエネルギーの量が削減されるため、樹木が紙に加工しやすくなることである。その結果、工場から排出される汚染物質の量も減少する可能性がある。

逆に、リグニン含量を増やした樹木はカロリー

値が高いため、燃料としての効率が良い。リグニン含量が増えるほど木材の強度は高まるので、理論的には、より丈夫な建設資材が開発できる。従って、リグニン含量を変化させることで、材木需要の充足が容易になり、天然の森林への圧力が軽減される可能性があると考えられている。

一方で、樹木のリグニン含量の変更による悪影響の懸念も指摘されている。リグニン含量の減少による懸念の1つは、樹木の健全性が損なわれる恐れである。リグニン含量が減少すれば、害虫が植物を食べやすくなり、さらに樹木がウィルス性の病気に罹りやすくなる恐れがあるともいわれている。さらに、リグニン含量を減らすことによって分解が加速され、土壌の組成と化学的性質に影響が及ぶ可能性もあるとされている。(CBD, 2007, パラ 11-12)

2) 害虫抵抗性

害虫抵抗性の付与は、作物と同様のアプローチで、Bt (バチルスチューリンゲンシス) 菌がもつ害虫にとって毒性のある化学物質を生成する形質を樹木に与えるものであるが、そのメリットとしては、まず植林地の広い範囲に殺虫剤を散布する必要性が低下することである。Bt の殺虫成分のターゲットは、特に樹木組織を栄養源とする生物に絞られるため、非害虫への曝露は減少するので、在来型殺虫剤を無差別に散布する場合と比べて、昆虫の多様性保全に役立つ可能性がある。また、絶滅の危機に瀕した (または絶滅が危惧される) 樹木種に害虫抵抗性を付与し、森林の回復や保護を後押しすることができる。さらに、たとえばアオナガタマムシなどの木に穴を開ける昆虫に対しては、殺虫剤を外側から散布しても効果が上がらないが、このような場合には樹木自体の細胞に耐性を持たせる遺伝子組換えが有効な解決策となりうる。

一方で、懸念される点としては、殺虫剤耐性を持つ昆虫種の発達を促す可能性がある。また、森林に生息する植食性昆虫や受粉仲介者となる昆虫の数が減少し、昆虫数の減少は食物連鎖全体に大きな影響を及ぼし、捕食者-被食者の関係と生物学的多様性をさらに広範にわたって変化させる可能性がある。非標的草食生物 (マイナーな害虫種) への影響、さらに草食生物の組織を餌にする食虫

類肉食類への影響も懸念材料としてあげられる。

害虫抵抗性は、一種類の害虫を抑制する一方で、二次的害虫の増加を促す可能性があるという点も指摘されている。また、昆虫は土壌の構成や分解において重要な役割を果たすため、腐食した植物に昆虫への毒性が残っていた場合には、土壌の構成や昆虫による分解に影響が及ぶ可能性がある。害虫抵抗性を持つ樹木から排出された毒性物質が根系を通じて森林の土壌に浸出する恐れも懸念されている。(同上パラ 13-15)

3) 除草剤耐性

作物と類似の議論がある。環境的メリットとしては、特に除草剤耐性によって、植樹林に比較的無害な広域スペクトル (広範囲の種類の植物に有効) の除草剤の散布が可能になり、複数の除草剤処理を行う必要がなくなることが考えられる。農業システムと比べた森林システム特有のメリットは、除草剤散布を毎年継続して行わず、森林確立の最初の数年のみに限定できるという点である。

除草剤耐性樹木の環境リスクとしては、特定の除草剤の使用を促進し、除草剤抵抗性を示す雑草のバイオタイプの淘汰圧を高めるだけでなく、広域スペクトルの除草剤の使用に拍車をかける可能性がある。害虫抵抗性を有する樹木と同様に、広域スペクトルの除草剤を使用することによって最終的に除草剤への抵抗性を示す植物のバイオタイプが発達する可能性があることも指摘される。(同上パラ 16-17)

4) 環境ストレス耐性, 高生産性

非生物的ストレス耐性の高い樹木は、生存可能性を高めることができ、汚染土壌の修復に使用することが可能になるというメリットがある。また、生産力を高めるように樹木の遺伝子を組換えることによって収穫率の高い植林地が形成されるため、原生林を伐採する必要性が低下し、これらの場所で生物学的多様性が維持されると推定される。

一方、いくつかの懸念も指摘されている。樹木の環境ストレス適応力を高めることによって、競合において優位性を高める樹木が現れ、生物学的多様性が失われる恐れがある。その上、高い回復力を与える遺伝子が遺伝子の水平的移動または他の媒介動物を通じて抜け出し、影響を受けた野生種が競合において優位性を高める恐れもあるとさ

れる。(同上パラ 18-19)

5) 遺伝子移動の懸念

新規の遺伝物質が野生遺伝子プールに抜け出す可能性が懸念されている。これは、受粉または GMO と野生類縁種との交配を通じた導入遺伝子の移動などの形で起こりうる。樹木の場合、種子や花粉は移動性が非常に高く、また異形交配可能な野生類縁種が至近距離にあるために、GM 樹木が一旦繁殖能力をもつと、高レベルの遺伝子封じ込めはほとんど不可能になると指摘される。交雑する植物の遺伝子プール全体における当該単一遺伝子の持続性にもよるが、回復力または昆虫/除草剤耐性の強化といった導入遺伝子形質が野生遺伝子プールに入り込んだ場合には、多大な潜在的環境影響が生じる可能性があるという指摘もある。

組換え遺伝子の拡散を防止するため、花粉の生成を阻害するか、または樹木の開花を防止することが提案されている。また、花粉が生成される前に樹木を伐採することができるように、ライフサイクルの中で成熟期に達する時期を遅らせるように樹木を設計する方法もある。

ただし、これらの方法にも次のような問題が指摘される。花粉と花をなくすことで果実や堅果の生成が抑制されるため、食物網のかかなりの部分が阻害されるという指摘がなされている。たとえば、テグマツなどのマツの木の実が食べられなくなれば、チャガシラヒメゴジュウカラなどの種は、重要な食物源を奪われることになる。さらに、計画的不稔や再生前の樹木伐採は、栄養生殖など、無性生殖による組換え物質の移転には効果がない。ヤナギ科ヤマナラシ属(ポプラ)は、折れた枝、小枝からでも再生可能である。もっとも懸念されているのは、計画的不稔の対象となる遺伝子(いわゆるターミネーター遺伝子)が野生の遺伝子プールに抜け出した場合、環境への潜在的影響は深刻になりうるという点である。さらに、現在の GM 樹木に対する理解、実施されたゲノム研究、技術的研究のレベルから見て、GM 樹木のもっとも効果的な封じ込め方法を判断することも、これまでに開発された方法の信頼性を判断することも現状では不可能であるとされる。(同上パラ 21-23)

6) 全般的な不確実性

体細胞変異が樹木異常の発現を引き起こす恐れ

があること、生態系に新しい遺伝子形質が入り込むことによって、これらの形質を受け入れた生態系に影響が及ぶ可能性があることも指摘されている。

以上様々な環境影響について見てきたが、これらの懸念を打ち消すような研究成果も発表されている。

いずれにせよ、作物とは違い、樹木は寿命が長く、繁殖サイクルを完了するまでには長い時間が必要である。従って、GM 樹木の研究は、数年間にわたるモニタリングが必要であり、作物より長期間、樹木を環境の中に置かなければならない。しかしながら、作物と比べて GM 樹木の影響を判断するための実験はかなり少なく、さらに、森林樹木とその環境との相互関係は一般に、作物と環境の関係ほどよく知られておらず、広範囲にわたる不確実性がつきまわっているのが現状である。

(同上パラ 24)

(2) 文化への影響

GM 樹木の文化への影響に関して、プラスの影響として挙げられるのは、たとえば病気によって減少した文化的に重要な樹木種の保護と保全である。樹木は寿命が長いため、作物の耐病性及び害虫抵抗性を高めるために用いられる伝統的な育種方法を森林に適用することは難しいことが背景にある。

マイナスの影響としては、遺伝子組換え体と非組換え体の競合が高まった結果、文化的に重要な種の消失が起きることが考えられる。

いずれにせよ、この分野においてはほとんど研究が行われておらず、また、何がプラスの影響で何がマイナスの影響かの判断はしばしば主観的な問題であることから、GM 樹木の文化的影響は定量化が難しいとされている。(同上パラ 25-26)

(3) 社会経済的影響

1) リグニン含量の変化

まず、リグニン含量を抑えることによるプラスの影響は、加工に必要なインプット(化学薬品とエネルギー)は削減され、パルプ化効率が高まる結果、経済的利益につながる。逆に、リグニン含量を増やすことにより、材木の密度が高まり、最

最終的に高品質、高価値の木材製品が得られる。一方、マイナスの影響として挙げられるのは、樹木のリグニンを操作することが樹木の健全性に悪影響を及ぼし、生産性の低下を招くことがありうる点とされることである。(同上パラ 28-29)

2) 害虫抵抗性・除草剤耐性・耐病性・環境ストレス耐性

害虫抵抗性を持つ樹木は、樹木の生存能力を高め、殺虫剤の必要量を減少させることにより、樹木生産に伴うインプットコストの削減をもたらす可能性がある。除草剤耐性を持つ樹木の利用により、生産者は、幾度もの除草剤散布や耕起といった費用のかかる在来型除草法を採用せずに済むようになる。耐病性樹木も、生産性の向上と、賞味期限が長く、より安全で、栄養価の高い食品の開発につながる可能性がある。

環境ストレス耐性の付与により、これまでは生育不可能だった土壌で樹木を栽培できるようになる。汚染土壌のファイトレメディエーションに樹木を利用できるようになり、本来なら利用できなかった土地を、費用効率の高い方法で再生できるようになる。さらに、大気汚染、土壌汚染に対して耐性を示す樹木を用い、特に都市環境において投資利益を約束するとも指摘される。加えて、経済的に価値の高い種の遺伝子を組換え、従来の生育地以外の場所で生育できるようにすることで、生産面積を広げることができる。

一方、耐性の強い害虫種の進化が促され、害虫の大発生を抑えるためのコストが増大する可能性が、経済的懸念の1つとして指摘される。(同上パラ 30-32)

3) 改良に要する期間の短縮

標準的な交雑育種は、長い期間を必要とするが、遺伝子工学を利用することによって、品種改良の結果がより早く出現できるようになり、生育時間が短縮されるという面で経済的メリットをもたらす可能性がある。(同上パラ 33)

4) その他の問題点

以上の他、GM 樹木の利用に関する経済面での一般的問題点として、たとえば、生産性の高い植林地の利用が、非GM 樹木または天然林の社会的、経済的価値を低下させ、天然林からGM 樹木への転換を活発化させる可能性が指摘される。もう1

つ、GM 樹木はかなり高コストであるため、GM 樹木が民間部門の特定の関係者に利益をもたらす一方で、貧困層はますます社会的に取り残されるという懸念が指摘される。(同上パラ 34)

(4) まとめ

CBD (2007)は、次のように結論づけている。GM 樹木の潜在的影響を評価するためには、たとえば大規模な野外試験により長距離に亘るモニタリング調査が必要である(たとえばマツの花粉は平均 50~100メートル移動するが、最長移動距離は 600 キロメートルに達する)が、現時点でそのような調査は行われていない。このように、必要な科学的データが現在のところは入手不能であることから、GM 樹木の利用に付随する環境、文化、社会経済への潜在的影響について明確な結論を下すことは不可能である。多くの専門家が、GM 樹木の利用を取り巻く科学的不確実性を考慮した上で、GM 樹木の利用を検討する際には予防的アプローチをとるべきだと指摘している。

(同上パラ 44, 45)

このように、GM 樹木に付随する多くの問題は、今後の取組と調査が待たれるところとなっている。

4. EU の制度・政策

本節では、GM 樹木をめぐる現段階での政策・制度、特に規制の状況のみをみることにする。わが国にとって最も参考となるのは、市民・消費者の環境・食品安全問題への高い意識等を背景に GMO に関して厳格な規制を設けている EU であろう。EU の GMO 制度一般に関しては、立川(2006)等の文献で既に紹介されているが、これらは主に作物を念頭に置いている。ここでは樹木に焦点を当てて紹介する。

EU については、共同体レベルでの動向と各加盟国レベルでの動向とを分けて見ていく必要がある。加盟国の事例としてドイツの動向について述べる。

(1) 共同体レベル

以下共同体レベルでの動向について、2008年9

月に実施した欧州委員会でのヒアリング結果に基づいて整理する。

1) GM 樹木の試験栽培状況

EU 全体における GM 樹木の野外試験の状況は、JRC（共同研究センター）のウェブサイト(http://gmoinfo.jrc.ec.europa.eu/gmp_browse.aspx)に掲載されている「GMO の意図的放出に関する EC 指令 2001/18/EC」に基づく申請(notification)を調べれば知ることができるが、このサイトはサーチが利用できないため、樹木だけを取り出してまとめることは困難である。欧州委員会でのヒアリングの際に、樹木だけを整理した資料を先方から入手することができた。第4表がそれで、2008年9月24日までの EC 指令 2001/18/EC に基づく GM 樹木の野外試験の申請が網羅されている。全部で 15 件、うちポプラ6件、リンゴ5件等となっている。これらにおいて導入される形質は、ポプラについては、リグニンの変更や土壌改良、リンゴについては耐病性付与等である。なお、この表に掲げているもの以外に、2001年の改正前の旧指令 90/220/EC に基づく申請が過去にあった。

GM 樹木の商業栽培の見通しについては、商業栽培の前提となる GM 樹木の市場流通の目的での上記指令に基づく申請はこれまで存在せず、近い将来における計画もない。

EU レベルにおいて GM 樹木についての戦略や研究計画は制定されていない。すべての GM 樹木の申請は、上記 EC 指令に基づきケースバイケースでのリスク評価に従って処理されることになる。

2) GM 樹木の規制枠組み

GM 樹木に適用される関係法令等については、まず基本となるのは、1) で触れた EC 指令 2001/18/EC である。この指令以外に、以下のものが GM 樹木に適用される。ただし、上記指令も含めいずれの法令も樹木だけに特定の適用されるものではなく、GMO 一般に適用されるものである。

- 理事会決定 2002/813/EC (野外試験の申請のフォーマット)
- 理事会決定 2002/811/EC (モニタリングの指針)
- 委員会決定 2002/623/EC (環境リスク評価の原則に関する補完的指針)

- 2006年5月 EFSA 文書 (GM 植物・食品・飼料のリスク評価のための GMO 科学パネルの指針)
- EC 規則 1946/2003/EC (GMO の国境間移動)
- ほかに 2003年6月23日委員会勧告 (GM 作物と非 GM 作物の共存方策に関するガイドライン) も、関連する可能性がある。また、リンゴなど食品の場合には、GM 食品飼料規則 1829/2003 も関連する。

環境放出の許可に際しての要件の設定及び申請者がとるべき封じ込め措置のあり方については、EU レベルで決めたものはなく、加盟国が責任を有することとされている。

樹木には、花粉の飛散性や寿命の長いことなど、作物との違いがあることを踏まえ、理事会決定 2002/813/EC (野外試験の申請のフォーマット) 及び委員会決定 2002/623/EC (環境リスク評価の原則に関する補完的指針) には、GM 樹木に特別な言及がある。たとえば、前者の Part 2, Question B7 には、GM 樹木の場合に種子散布の方法や範囲等を記述するよう定めがあり、後者には、寿命が長いことを GM 樹木のリスク評価に当たり考慮すべき旨の言及がある。

(2) ドイツ

EU 加盟国レベルでの対応の例としてドイツを採り上げる。以下、2008年9月に実施した現地ヒアリング結果に基づき整理する。

1) GM 樹木の試験栽培状況

まず野外試験の状況については、ドイツでは現時点で GM 樹木の野外試験は存在しない。過去に4件(すべてポプラ)の野外試験が実施された。2例は、University of Freiburg (フライブルク大学)、他の2例は Johann-Heinrich-von-Thuenen-Institute (連邦研究所)によるものであった。その試験内容は、遺伝子の安定性、土壌改良、mycorrhiza fungi への遺伝子水平移動のレベル及び無性生殖能力であった。

現在野外試験が行われていない理由は、様々な理由があるようである。規制に関する手続きの煩雑さのほか、自然環境に与える影響(花粉飛散など)に対する賠償責任の問題があるとの見方もあ

第4表 EC指令2001/18/ECに基づくGM樹木の野外試験の申請（2008年9月24日まで）

	申請番号	機関・会社名	導入形質	試験ほ場の面積(m ²)
リンゴ (<i>malus domestica</i>)	B/NL/04/02	Plant Research International – Dept. Genetics and Breeding	Pathogen resistance fungal resistance	3,850
リンゴ (<i>malus domestica</i>)	B/DE/03/140	Federal Centre for Breeding Research on Cultivated Plants	Pathogen resistance Fungal resistance	(2箇所) 10,000 2,000
リンゴ (<i>malus domestica</i>)	B/BE/03/V1	Katholieke Universiteit Leuven, Fruitteeltcentrum, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen	Altered development Ability to self fertilise	713
リンゴ (<i>malus domestica</i>)	B/NL/02/03	Plant Research International – Dept. Genetics and Breeding	Pathogen resistance Fungal resistance	
セイヨウナシ/リンゴ (<i>pyrus communis</i> / <i>malus domestica</i>)	B/SE/04/1227	Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Crop Science	Altered development Modified plant architecture	6,000
プラム (<i>prunus domestica</i>) Consent not issued	B/RO/07/04	Fruit Research and Development Station Bistrita	Pathogen resistance Virus resistance	
プラム (<i>prunus domestica</i>)	B/CZ/06/03	Research Institute of Crop Production	Pathogen resistance Virus resistance	260
レモン (<i>citrus sp</i>)	B/IT/04/03	University of Catania	Pathogen resistance Fungal resistance	120
カバノキ (<i>betula pendula</i>)	B/FI/05/1MB	University of Joensuu	Altered development Flowering prevention	1,000
ポプラ (<i>Populus deltoides</i>)	B/DE/02/145	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	Modified environmental interactions Bioremediation (e.g. of soil heavy metals)	(2箇所) 2x2,500
ポプラ (<i>Populus alba x tremula</i>)	B/FR/03/06/01	INRA (L'institut national de la recherche agronomique)	Altered products or enhanced yield Altered lignin	
ポプラ (<i>Populus tremula x tremuloides</i>)	B/SE/04/1309	Umeå University Department of Plant Physiology	Altered development Lack of photosynthetic proteins	10
ポプラ (<i>Populus alba x tremula</i>)	B/FR/07/06/01 (renewal of B/FR/03.06.01)	INRA	Altered products or enhanced yield Altered lignin	1,364
ポプラ (<i>Populus alba x tremula</i>) Refused consent	B/BE/07/V2	VIB (Vlaams Interuniversitair Instituut voor Biotechnologie)	Altered products or enhanced yield Altered lignin	2,400
ポプラ (<i>Populus deltoides</i>)	B/SE/08/379	SLU Umeå	Pathogen resistance	400

資料：欧州委員会環境総局。

る。また産業側に大きな関心がないという背景もある。

現在は野外試験は行っていないものの、温室内での研究は進められている。遺伝子の安定性、垂直的伝播、非標的生物への影響等などに関する研究が行われている。

バイオマス生産のためにポプラを組換える研究も、政府による新規研究プロジェクト内で実施されている。CO₂吸収能力の向上も視野に入れられている。

ドイツで商業化の計画は現時点では存在しない。商業化が実現するためには、リスク分析とバイオ

セーフティ研究が徹底的に行われる必要があると認識されている。この研究は、特に、花粉の飛散を防止すること、これによって遺伝子の垂直移動を回避すること（花粉を付けない、または種子を生じない）が重要とされており、特に長期的リスクを解明するため、より多くの野外試験が必要であると考えられている。

2) GM 樹木の規制枠組み

GM 樹木の規制枠組みについては、GM 作物と同じように、EU 全域に適用される EC 指令 2001/18/EC と、国内法であるドイツ遺伝子技術法 (Genetic Engineering Act) とが適用される。

これらの法令は、GMO 一般に適用されるものであり、現時点で GM 樹木に焦点を当てた特別な規則またはガイドラインは存在しない。GMO 一般と同様、樹木についてもケースバイケースでのリスク評価に従って認可がなされることになる。

3) GM 樹木に伴う問題の討議の場

政府において GM 樹木に特別に対応した討議の場や委員会等を設置してはいない。

GM 樹木の開発や将来の導入について公開での討論やインターネットを通じて市民討議が開始されている。アクセプタンスの獲得のためには、GM 樹木の利点と見込まれる用途をいかに説明するか、並びにバイオセーフティ研究についての活動内容をどのように示すかということが重要であると認識されている。このことは、ドイツの Grosshansdorf における GM ポプラの最初の野外試験において明らかとなった。市民はその実験の当初は GM 樹木に反対であったけれども、実験の目的、バイオセーフティの問題及び予防的措置について情報を与えられた後は、GM 樹木のアクセプタンスが増大した。

以上のように現時点では、EU 及びドイツにおいても GM 樹木に特定した政策展開はまだ本格的には見られない状況であり、安全性の確保対策のあり方については議論が始まったばかりの段階にあると言えよう。

5. GM 作物との相違とその含意

GM 樹木に関する政策展開はこれから始まろう

とする段階であるが、その場合には当然、商業化が先行している GM 作物における状況を踏まえた対応が求められるであろう。GM 作物は、米州大陸諸国を中心に急速に普及が進む一方で、世界のある地域、とりわけ欧州の国々においては市民・消費者の抵抗が強い。これらの国々では、GM 推進派と反対派とがほとんど水と油のごとく分裂状態にある。Hall (2007) は、GM 作物と GM 樹木との状況の相違を整理し、それを踏まえ GM 樹木の今後の展開に当たって必要となる対応についてバランス良く述べていることから、本節ではそのポイントを紹介する。

(1) 物理的特性

樹木と作物との間には、次のように基本的な物理的特性の相違が存在する。前述 (3 節) と少し重複する点もあるが、ここでは作物との比較という観点から見ている。

第 1 に、森林は通常辺境等の人里から遠く離れた場所に位置している。第 2 に、生育のローテーションは、ほとんどの作物がワンシーズンであるのに比べ、はるかに長期である。第 3 に、樹木それ自体は作物よりもはるかに大きく成長し、樹木の花粉と種子は遠い距離を飛ぶことができる。

こうした相違点は GM 樹木の展開にとって多くのインプリケーションを有する。

森林が辺境等に位置していることから、GM 樹木による予期しない悪影響の定期的なモニタリングは、不可能ではないとしても困難である。また、野生の近縁種と極めて近接して存在することになるので、花粉交雑の可能性は増加する。

樹木が作物に比べて長命であることにより、GM 樹木による予期しえない結果が、何年間にもわたって表面化しない可能性がある。ローテーションの長いことは、樹木が作物に比べそのリスクの評価のためにより多くの時間を要求することを意味する。また樹木が長命であることは、樹木が作物に比べ非常に広範なストレスにさらされ、そうしたストレスが引き起こす副作用を見つけ出し対処することがはるかに困難になるという可能性を増加させる。

樹木の花粉と種子の飛散性は、もし GM 樹木が侵入的になれば、それらはより広い範囲にまん延

する可能性を意味する。

最後に、樹木は、環境中における要となる種であり、そして作物よりもはるかに生物多様性を支えると考えられる。(Hall, 2007, pp.438-439)

(2) 市民の懸念の性質

果樹は別として樹木は一般には食べるものではないので、市民の GM 樹木に対する反対及び懸念のレベルは、GM 作物のそれほどには大きくないであろうとの意見もある。GM 樹木の場合には、GM 食品を食べることによる健康への懸念が当てはまらず、消費者は樹木がどのように生産されているかあまり気にしないだろうと考えられるからである。

しかしながら、市民の GM 作物・食品に対する懸念は、それを食することによる健康への影響だけでなく、生産方法の環境への影響にも関連しているという研究結果もある。食品としての消費に関連する懸念は、問題の一部に過ぎない。GM 技術を使用した植林が自然林の伐採圧力を和らげることができるという主張や、リグニン含有を改良された GM 樹木が加工過程におけるエネルギーと化学薬品を減少させ、環境にもよいという主張を市民に信じてもらいたいと期待しても、「危うい樹木」が作り出されるのではとの懸念に答えねばならない。

果樹への GM 技術の適用の場合には、市民の GM 作物への健康上の懸念は、GM 樹木にも同様に当てはまることになる。まさに世界で最初の GM 樹木の商業栽培は、ハワイでのパイヤの栽培であった。(Hall, 2007, pp.440-441)

(3) 倫理上の問題

GMO に関しては、その環境への影響及び健康上の懸念に加えて、たとえば「人間は GM 技術を自然の進路を変更するために用いるいかなる権利も有しない」というような倫理上の問題も指摘されるところである。こうした観点からの意見は、GM 樹木に関しては作物の場合よりも一層強力になる可能性がある。森林は、歴史、神話及び文学の舞台であり、小麦やとうもろこしにはない、多くの人々にとっての情緒上の価値及び人間の文化にとっての重要性を有するからである。(Hall,

2007, p.441)

(4) GM 作物との比較を踏まえた対応

以上のようにみてくると、GM 樹木は GM 作物に比べて問題が少ないということはなく、かえって種々の問題が存在する。Hall(2007, pp.444-445) は、こうした相違点を踏まえ次のような提言をする。賛成派と反対派とに立場が二分されてしまっている GM 作物のような状況を GM 樹木に関して避けようとするならば、企業、研究者、市民、NGO 及び政策決定者は、研究および商業開発の将来の方向の決定について共同で作業をする必要がある。森林バイオテクノロジーの提唱者は、GM 作物において生じた問題から学習し、樹木がある人々にとってはナタネやトウモロコシの圃場に比べより情緒的な問題であるという事実に着目する必要がある。GM 森林に対するこのインプリケーションを理解するために、市民の意見及び懸念を見いだすことが必要であろう。

6. おわりに

本稿の内容を要約しよう。まず、GM 樹木の栽培は、世界各国において試験栽培が盛んに行われているが、商業栽培は米国と中国で始まったばかりで、まだ限定的である。GM 樹木には環境面や経済面において大きな便益が期待される一方で、環境面その他への悪影響も懸念されている。現段階では必要な科学的データが入手可能ではないことから、GM 樹木のリスクには不確実性が高く、その利用には予防的アプローチをとるべきであると指摘されている。商業栽培がまだほとんどないという状況を反映して、GM 樹木に関する規制・制度は、環境問題にセンシティブな欧州でも現時点では GMO 一般の枠組みが適用されている。今後の展開に当たっては、これまでの GM 作物における状況を踏まえた対応が求められるであろう。GM 樹木は GM 作物に比べても、倫理的問題等さまざまな問題があることから、政策決定者や企業等は、市民の懸念の内容をよく知った上で、その将来の方向の決定について市民を含め共同で作業をする必要がある。

森林は、木材、パルプ・紙及び食物の供給源で

あるとともに、美しい風景や精神的な安らぎの場を提供する。またCO₂の吸収、土壌浸食の防止、水源の涵養のような極めて重要な役割を果たしている。森林のあり方は、社会にとって大きな関心事項である。わが国においても、今後のGM樹木に係る研究開発や政策の展開に当たり、欧州を始め各国におけるこれからの本格的な政策展開にむけた議論を注視しながら、GM樹木に対する市民の懸念を踏まえた安全・安心の確保対策をとっていくことが重要である。

注(1) 林野庁「森林・林業分野における遺伝子組換え技術に関する研究開発の今後の展開方向について」(平成19年8月31日)

(2) CBD(生物多様性条約締約国会議)事務局は、2006年5月4日、生物多様性条約締約国及び関係機関にアンケートを配布し、①GM樹木の栽培状況、②GM樹木に付随する問題を検討するためのフォーラム、国内委員会その他の討議の有無、③GM樹木の影響を最小限に抑えるためのガイドラインまたは規則の有無等について情報提供を求め、2007年9月までに受け取った35カ国からの回答を文書にとりまとめた(CBD(2008))。この文書は、回答の大半は欧米諸国からのもので、全世界を網羅してはいない。これによれば、アンケート回答国の26%(9カ国)は、国内でGM樹木の栽培を現在行っていると回答している。米国だけが商業栽培の実施事例があり(ハワイでGMパパイアを栽培)、その他のすべての国においては、実験目的の栽培となっている。

〔引用文献〕

CBD(2007) *The potential environmental, cultural and socio-economic impacts of Genetically modified trees, Background document to the in-depth review of the forest programme of work, UNEP/CBD/SBSTTA/13/INF/6, 5 December 2007*

CBD(2008) *Compilation of views on the Potential*

Environmental, Cultural and Socio-economic Impacts of Genetically Modified Trees, UNEP/CBD/SBSTTA/13/INF/7, 13 January 2008

FAO(2004) *Preliminary review of biotechnology in forestry, including Genetic modification. Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest5 Resources Development Service, Forest Resource Division. Rome, Italy.*

Hall, C. (2007) "GM technology in forestry: lessons from the GM food 'debate,'" *International Journal of Biotechnology*, 9(5), Inderscience Enterprises Limited.

立川雅司(2006)「EUにおける遺伝子組換え作物関連規制の動向 - 食品・飼料規則制定後の動きを中心に -」, 藤岡典夫・立川雅司編『GMO:グローバル化する生産とその規制』農林水産政策研究叢書7号

山下憲博(2009)「中国の遺伝子組換え林木の現状」『遺伝子組換え樹木/遺伝子組換え作物をめぐる諸外国の政策動向』農林水産政策研究所

〔謝辞〕

本文でも記したように、本章の記述のうちEU及びドイツの部分は、2008年9月に実施した現地ヒアリング結果に基づいている。この際に、欧州委員会環境総局、ドイツ連邦食料・農業・消費者保護省(バイオ及び遺伝子組換え技術担当課)及び「農村空間・森林・漁業に関する連邦研究機関・森林遺伝子研究所」の方々をはじめ、ヒアリングをアレンジいただいた在ブリュッセル欧州代表部の杉中淳参事官、島村和亨参事官及び在ドイツ大使館三上卓矢一等書記官、並びに調査に同行いただいた茨城大学の立川雅司准教授に大変お世話になった。記して感謝申し上げる。

Policies and Regulations of Genetically Modified Trees, especially in Europe

Norio FUJIOKA

Summary

Genetically modified trees (GM trees) are expected to contribute to solve the problems such as global environmental issues and stable supply of wood resources. While numbers of field trials of GM trees are being conducted in various countries in the world, their commercial cultivation are seen only in U.S. and China. But there are concerns that the technology's consequences may have adverse affect especially on the environment. The scientific data of the potential impacts of GM trees is not currently available, and given the scientific uncertainty on the use of GM trees, it has been pointed out that the precautionary approach should be applied when considering the use of GM trees.

In the reflection of little commercial use of GM trees, general regulations on GMOs are applied to GM trees even in the EU where many people are environmentally conscious, and those regulations don't specifically focus on GM trees. GM trees may arise ethical issues more seriously than GM crops. Policy makers and the industry need to work together with the public on deciding future directions of the utilization of GM trees.