

寄稿

「森と林」そして「樹と草」

非木材グリーン協会会長

東京大学名誉教授

飯山 賢治

1. 生活、政治そして科学に事物、事象の「定義」は必須

「陸上男子 100m の世界記録はボルトの 9 秒 58、日本記録は 10 秒 00」「軽自動車の排気量は 660mL と規定されている」「2014 年の日本のコメの収量は 6.70t/ha、タイでは 3.01t/ha」

ここで異なった規格の時計や物差し、秤などを使っていたのでは、これらの数字を比較することはできません。そこで国際機関でそれぞれの単位を厳密に「定義」することで、はじめて意味のある数字として取り扱うことができることになります。ちなみに 1 秒は ^{133}Ce (原子量 133 のセシウム安定同位体) 原子の基底放射の周期の 9,192,631,770 倍の継続時間とされ、1m は 1 秒の $1/299,792,458$ の時間に光が真空中を伝わる距離と定義されています。

しかし kg だけは、物理的定数ではなく、1889 年から今日まで、パリの国際度量衡局にある人工的な「国際キログラム原器」を基準とすることになっていました。日本のキログラム原器は、国際度量衡局から 1890 年に配布されたもので、国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準センター内に置かれています (図 1)。

質量を他の基本単位にならって物理的定数を基準にすることを目指して、国際度量衡局を中心に日本 (国立研究開発法人産業技術総合研究所) を含む多くの国の研究機関で検討が進められた結果、2019 年 5 月 20 日 (世界計量記念日) に、「質量は物理定数であるプランク定数 ($h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s}$) を基準とする新たな定義」に移行しました。このことは、「光の放射圧」を基準にして質量、つまり重さが決まることになったということです。実際にはこの定義にあわせて検定された「はかり」で重さが量られます。

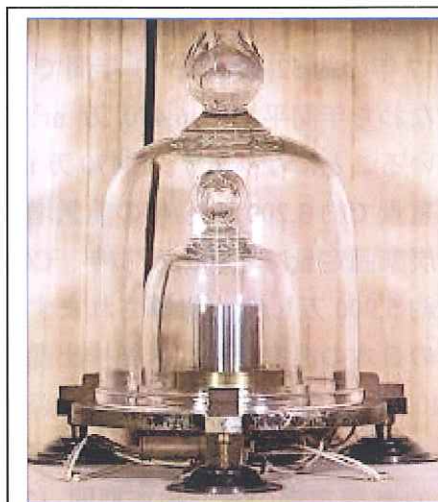


図 1 国際キログラム原器

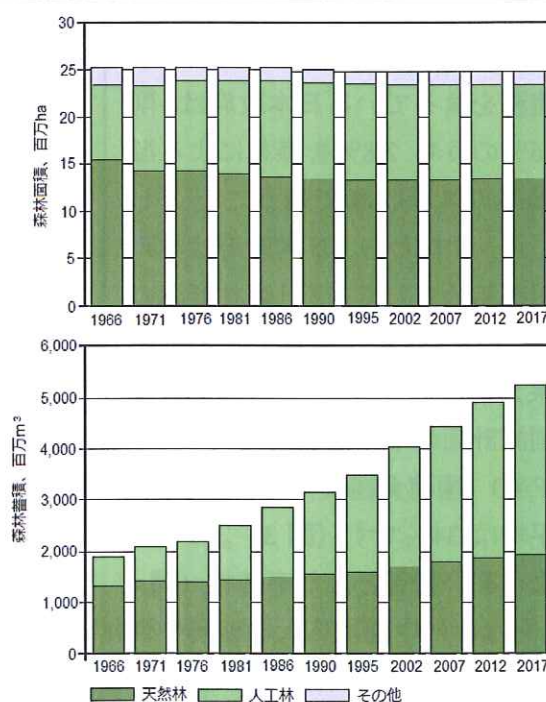


図 2. 日本の「森林」の状況

紀元前 221 年に秦の始皇帝は、史上初の中国統一を成し遂げました。その統一国家運営の中核に置かれたのは、暦、貨幣及び記述言語の統一とともに度量衡、すなわち「長さ」(度)、体積(量)及び重量(衡)の統一的「定義」です。生活、政治そして科学にとって、事物、事象の「定義」は必須と言わざるをえません。

2. 日本と世界の「森林」の状況

日本の森林面積はここ 50 年間にほぼ 2,500 万 ha (25 万 km²)、すなわち国土面積 37.8 万 km² の 66%を維持しています(図 2)。一方、森林の木材材積蓄積量は 1966 年の約 19 億 m³ から 2017 年の約 52 億 m³ と 51 年間で 33 億 m³、すなわち年間平均で 6,470 万 m³/年増加していることになります。6,470 万 m³/年は絶乾重量で約 3,200 万トン/年の重量増、すなわち炭素固定量は 1,600 万トン/年、CO₂ 固定量は約 5,900 万トン/年と計算されます。2017 年度の日本の温室効果ガス総排出量は 12 億 9,400 万トン/年ですから、日本の森林はその約 4.5%を吸収していることになります。

京都議定書の第一約束期間(2008-2012 年)で、温室効果ガス排出量を基準年(1990 年)比で 6%削減(2008 年の排出量は 12 億 8,200 万トンで 2012 年末までに、1990 年 12 億 6,100 万トンの 6%減である 11 億 8,500 万トンまで 9,700 万トン削減しなければなりません)する義務を負っている日本政府は、削減 6%のうち 2.8%を森林による温室効果ガス吸収増で賄うこととしました。すなわち、日本政府は林野庁が毎年公表している「森林資源の状況」に基づいて、森林による温室効果ガス吸収増を温室効果ガス排出削減計画の中核に据えたのでしょう。

FAO(国連食糧農業機構)の土地利用データによれば、日本の森林率は 66%ですが、世界の平均は 34%です(図 3)。アマゾンの熱帯雨林のブラジルは 60.5%、樹木密度が熱帯湿潤林より高い鬱蒼とした寒帯林(図 4)を抱えるロシア及びカナダはそれぞれ 47%及び 31%です。ちなみに中国は広大な砂漠や森林限界を越す標高 3,000m 以上の高地を抱えていることもあり、森林率は 21%に留まっています。

FAO が公開している統計 FAOSTAT によれば、世界の森林面積は 1990 年の 41 億 2,800 万

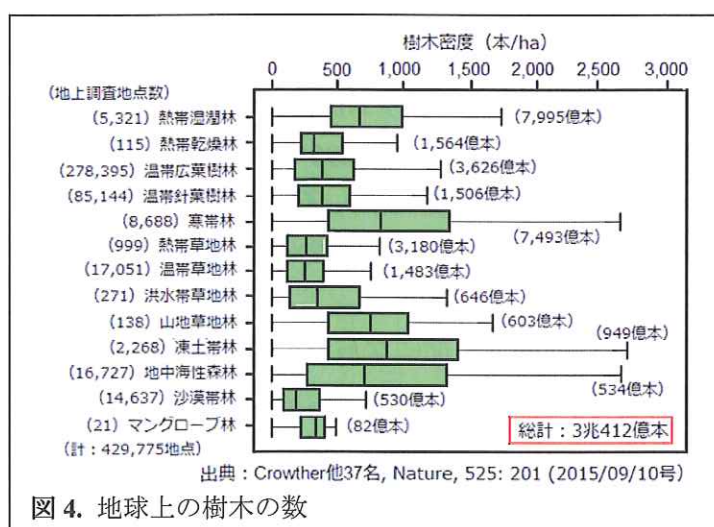
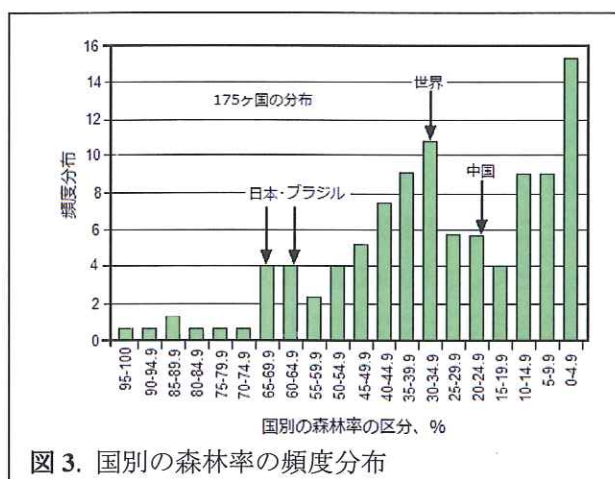
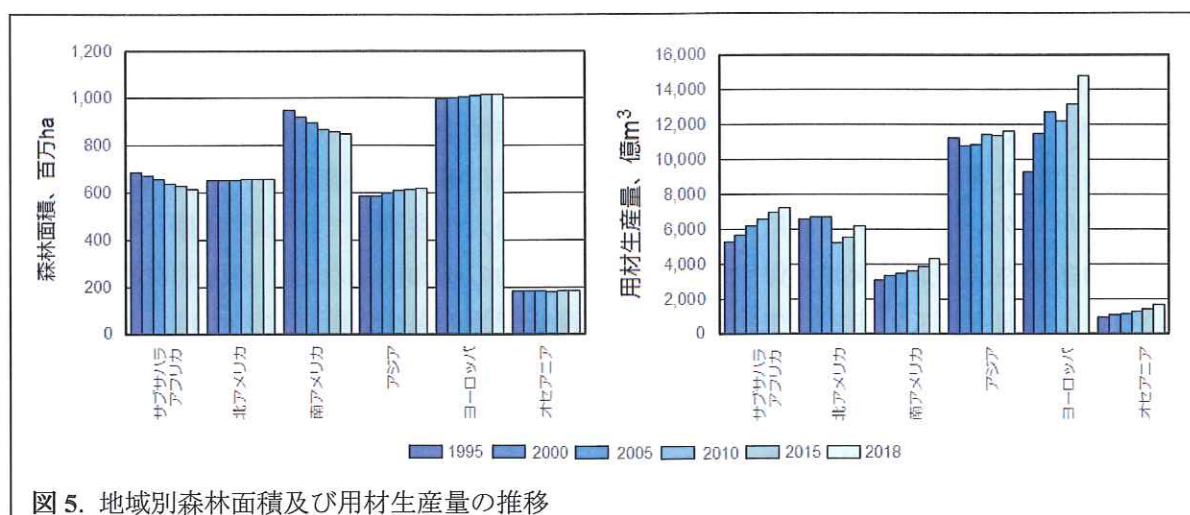


図 4. 地球上の樹木の数



ha から 2018 年の 40 億 7,000 万 ha と 1.4%減少しています。特に減少が目立つのがサブサハラ・アフリカ (11.6%減) と南アメリカ (10.4%減) です (図 5)。アジアの森林面積は微増していますが、詳細に見ると東南アジアでは 1990 年から 2018 年の 28 年間で森林面積は 14% 減少していました。

その一方で、東アジア、特に中国で植林が進められ、同期間で森林面積は 20%増加しています。森林面積が減少したアフリカ及び南アメリカは用材 (燃料用材、工業及び建築用材、及びパルプ材) の生産量が顕著に増加しています。サハラ砂漠以南のアフリカ諸国をサブサハラ・アフリカと呼びますが、生産された木材の 90%が燃料 (薪及び製炭用) 材として供給されていて、2019 年のその量は 1990 年の 1.5 倍にもなっています。

表 1. 特徴的な地域の土地利用率 (%) の変化

		世界		サブサハラ アフリカ		南アメリカ		東南及び 南アジア	
		1990	2018	1990	2018	1990	2018	1990	2018
農耕地	10 ⁶ ha	1,370	1,395	144	199	94	121	293	294
	%	10.5	10.7	6.8	9.0	5.4	6.9	27.3	27.2
果樹等	10 ⁶ ha	116	170	20	29	15	17	36	67
	%	0.9	1.3	0.9	1.3	0.9	1.0	3.4	6.2
草地	10 ⁶ ha	3,312	3,234	688	718	433	440	112	95
	%	25.4	24.9	32.3	32.6	24.8	25.2	10.5	8.8
森林	10 ⁶ ha	4,232	4,069	703	617	974	849	332	310
	%	32.5	31.3	33.1	28.0	55.7	48.6	31.0	28.6
その他	10 ⁶ ha	4,007	4,133	572	638	233	320	298	316
	%	30.7	31.8	26.9	29.0	13.3	18.3	27.8	29.2

果樹等：果樹及びオイルパームプランテーション等

その他：市街地化等

森林面積の減少が顕著な地域について、土地利用の変化を見てみましょう (表 1)。28 年間で森林面積が 7% (1 億 2,500 万 ha) 減少している南アメリカでは、主に農耕地 (1.5%増)、草地 (0.4%増) 及び市街地等 (5.0%増) となっています。後発途上国がほとんどのサブサハラ・アフリカでも森林は 5.1% (7,000 万 ha) 減少しており、主に農耕地 (2.2%)、市街地等 (2.1%) 及び草地 (0.4%) になり、発展著しい東南及び南アジアでは森林の 2.4% (2,200 万 ha) は草地 (1.7%減) と併せて、オイルパーム等果樹園 (2.8%増) 及び市街地等 (1.4%増) になっています。

3. 「森林」の多面的機能

「森林」は、①木材や燃料、紙の原料、種々の林産物を提供すること、②土壌の流出や土砂崩れ等土砂災害防止機能、③洪水の緩和、水質の浄化等水源涵養機能、④自然とのふれあいを通じたレクリエーション機能に加えて、現代多くの人が注目している⑤菌類、植物及び動物の生物多様性及び遺伝資源の保全機能、⑥気候変動の緩和機能など、多面的な機能を持っていることが知られています。生物多様性及び遺伝資源の保全機能については「生物多様性条約(Convention on Biological Diversity; CBD)」、気候変動の緩和機能については「気候変動枠組条約(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)」で国際的規定が設定され、日本もそれら規定に真摯に対応することが求められています。

表 2. 国有林の林種別機能類型別面積、材積及び成長量 (2019 年 4 月 1 日)

	総数	林 地				林地以外
		計	人工林	天然林	竹林	
面積 (千 ha)						
総 数	7,580,365	6,905,429	2,199,753	4,689,604	119	674,936
山地災害防止	1,460,653	1,357,289	271,444	1,084,074	21	103,364
自然維持	1,703,374	1,332,404	24,443	1,307,461	1	370,971
森林空間利用	476,866	429,915	99,984	329,339	32	46,951
快適環境形成	2,265	2,210	723	1,481	6	55
水源涵養	3,932,585	3,779,890	1,803,030	1,963,656	59	152,695
区分外	4,622	3,722	129	3,593	-	900
材積 (百万 m³)						
総 数	1,184,307					0.55
針葉樹	656,413					0.15
広葉樹	527,894					0.40
成長量(千 m³/年)						
総 数	18,226	18,225	11,969	6,256		1
針葉樹	13,477	13,476	11,274	2,202		1
広葉樹	4,749	4,749	695	4,054		1

出典：林野庁「国有林野事業統計書」(2020 年)

林野庁も、日本の国有林 758 万 ha についてその機能を①山地災害防止、②自然維持、③森林空間利用、④快適環境形成及び⑤水源涵養に分類しています(表 2)。国有林の材積は 11 億 8,400 万 m³ で、年間の成長量は 1,820 万 m³、すなわち材の成長量は低く 1.7% (針葉樹 2.35%、広葉樹 0.94%) です。

なお、2019 年にこの国有林から素材生産のため立木伐採された面積は 6,500 ha (国有林の 0.086%) で生産された素材は 860 万 m³ (材積量の 0.78%であり、年間成長量の 45%) に過ぎません。2019 年に間伐された国有林の面積は、国有林全体の 1.66%の 12.6 万 ha であり、間伐材は 247 万 m³でした。通常、間伐は 20~30 年毎に実施することによって豊かな森林を育成するとされていますが、実際の「1.66%の間伐」は 60 年に 1 回のペースとなっています。

表 3. 経済活動別国内総生産 (10 億円)

国内総生産	農林水産業		製造業	繊維製品	
	農業	林業		パルプ・	

						紙	
2000	526,706	8,090	7,967	172	118,815	3,093	3,223
2001	523,005	7,231	7,084	149	111,158	2,607	2,996
2002	515,986	7,183	7,257	136	107,757	2,336	2,704
2003	515,401	6,777	6,757	142	108,803	2,164	2,726
2004	520,965	6,472	7,248	139	111,135	2,001	2,753
2005	524,133	5,898	6,955	134	113,448	1,804	2,789
2006	526,880	5,766	6,837	161	113,879	1,752	2,461
2007	531,688	5,641	6,100	181	117,376	1,758	2,253
2008	520,716	5,511	6,069	194	111,580	1,668	2,202
2009	489,501	5,299	5,777	176	93,721	1,461	2,173
2010	500,354	5,515	5,460	190	104,239	1,370	2,235
2011	491,409	5,285	4,935	202	96,639	1,345	2,151
2012	494,957	5,651	4,809	185	97,663	1,426	1,914
2013	503,176	5,556	4,629	201	97,799	1,325	1,829
2014	513,876	5,428	4,553	214	101,394	1,300	1,770
2015	531,320	5,918	4,391	206	110,585	1,508	2,065
2016	535,537	6,498	4,628	211	111,011	1,345	2,195
2017	545,897	6,617	4,400	215	113,480	1,308	2,108
2018	547,126	6,781	4,783	226	113,511	1,278	2,021

出典：内閣府「国民経済統計」

日本の森林の70%は公有林を含む民有林（林野庁の統計では国有林以外を民有林としています）で、その面積は1,750万haです。2018年に立木伐採された民有林は国有林の10倍の66,000ha（民有林の0.38%）で、生産された素材は3,300万m³でした。間伐実施面積は年平均37万ha（民有林の2.1%）で、生産間伐材は550万m³。これらの数字は、木材資源という観点からは、民有林の方が有効に活用されていることを示しています。なお、世界では産業用木材用材生産の多くは、集材、加工及び出荷のコストから計画的に平地林で行われています（図6）。

日本経済の中で、林業は国内総生産（GDP）のわずか0.03%にすぎなくなっています（表3）。関連する木材産業を見ても、製材・木製品製造産業は0.17%と極めてマイナーな産業となりました。紙パルプ産業はGDPの0.48%になっていますが、原料の木材チップの70%は輸入材であり、国内の林業への寄与は低いのが実情です。

ちなみに、「生態系と生物多様性の経済学（TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity）」が2009年の国連気候変動コペンハーゲン会議（COP15）にあたって、熱帯雨林の持つ機能を11項目に分類し、それぞれの「価値」を「価格」に換算したデータ「熱帯雨林の生態機能の価値」を公表しました（図7）。具体的な「価格」評価及び算出法は不明ですが、公表した時、場所及び目的から「気候調節」機能を最も高く評価し、合計で6,120米ドル/ha・年、すなわち熱帯雨林1ha当り年62万円と算出しています。



図6. 用材（産業用丸太、パルプ材など）の多くの生産は平地林で行われている。

4. 森林 (Forest)とは?

それでは、森林 (Forest)はどのように定義されているのでしょうか? 日本では「森林法」で、FAO (国連食糧農業機構) 及び ISCGM (地球地図に関する国際諮問委員会) が設定している定義、そして UNFCCC (気候変動に関する国連枠組条約) が各国に求めている「森林」の定義設定と日本の対応について紹介しましょう。

茨城県つくば市にある国土交通省国土地理院に事務局が置かれ、「地球地図」

を各国政府機関等に供給している国際機関 ISCGM (International Steering Committee for Global Mapping : 地球地図に関する国際諮問委員会) は、① 森林 (Forest): 樹木作物を含む樹冠被覆率が 40%以上で、樹高が 3m 以上、② 疎林 (Woodland; Open forest; Sparse woods): 樹冠被覆率が (10-20) % から 40%、③ 灌木林 (Shrub; Bush): 樹冠被覆率が (10-20) %以上で、樹高が 0.3m から 5m の間、と分類しています。ここで言う「疎林」及び「灌木林」が「林」にあたるといえるのではないのでしょうか。

京都議定書を受けて、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) は、CO₂ 吸収源としての森林を重視していますが、独自の森林の「定義」はなく、目的が異なっているにも関わらず、上述の FAO の定義をほぼそのまま適用しています。

1) 日本の「森林法」

日本では「森林法」の第2条で『この法律において「森林」とは、左に掲げるものをいう。但し、主として農地又は住宅地若しくはこれに準ずる土地として使用される土地及びこれらの上にある立木竹を除く。1. 木竹が集団して生育している土地及びその土地の上にある立木竹、2. 前号の土地の外、木竹の集団的な生育に供される土地』と定義しています。なんとも大雑把な「定義」です。問題は「但し書き」の部分です。立木竹であっても、「農地」と位置付けられる果樹栽培地、「住宅地」としての屋敷林、神社林、公園等緑地などは森林から除くこととしているのです。

日本の法令体系の中に、平坦な住宅地区であっても「山林」と位置付ける土地区分が設定されています。「国税庁財産評価基本通達」第4節では

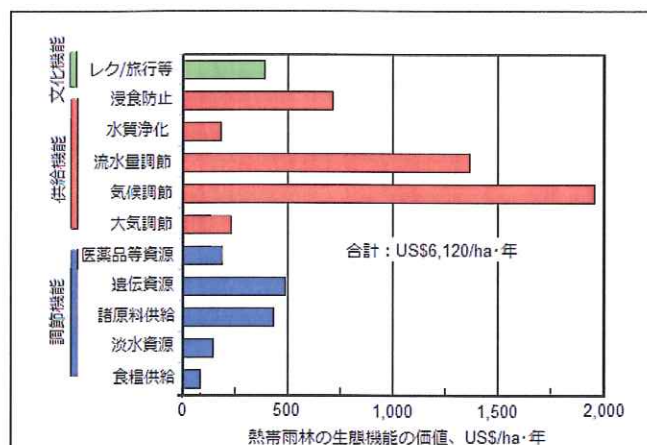


図 7. 熱帯雨林の生態機能の米ドル換算価値
出典: 「生態系と生物多様性の経済学」(TEEB: The Economics of Ecosystem and Biodiversity) Climate Issues Update 2009

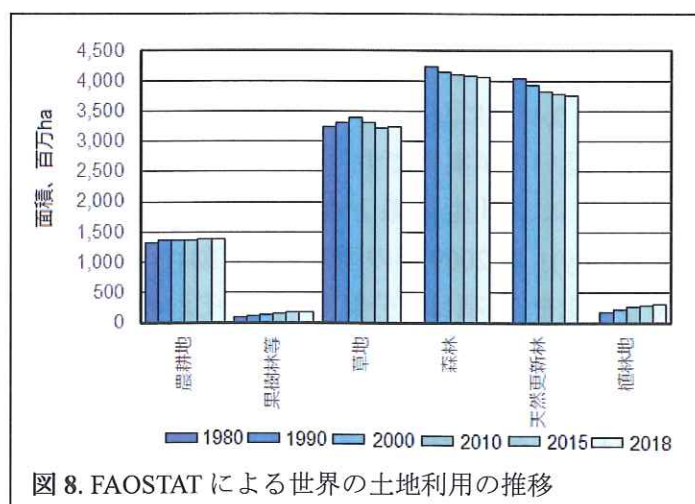


図 8. FAOSTAT による世界の土地利用の推移

「山林の評価は、次に掲げる区分に従う。(1) 純山林及び中間山林、(2) 市街地山林」としており、財産評価では住宅地にある立木竹も平地であっても「山林」と呼び「森」と位置付けています。

2) FAO (国連食糧農業機構)

FAO は、1961 年から毎年各国からの報告に基づいて、農業生産物等の統計値を FAOSTAT として公表しています。その中に“Land Use”の項目があり、農耕地等のデータを掲載している(図 8)。図 8 で「その他」(Other land) は、砂漠地、氷雪地、岩石地及び市街地として開発された地域等を指しています。森林面積については 1990 年から 5 年毎に各国に報告を求め、5 年の間は変化を直線で内挿して掲載して求めたデータを公表しています。統一した基準で各国に森林面積の報告を求める必要性から、森林資源評価書 (Forest Resources Assessment Working Paper: FRA) にその基準を記載し、各国政府機関に提供しています。その主要部分は以下の通りです。なお、FAOSTAT の 2015 年に閲覧可能となった新バージョンでは、「森林」面積の内数として「原生林」("Primary Forest") を提示していましたが、原生林の定義が分りにくいこともあって、2018 年になって、「Naturally regenerating forest」とし、「Planted forest」を対置しました。

a) FAO の Forest (森林) の定義と説明

「面積が 0.5ha 以上で、樹高 5m 以上の樹木の樹冠被覆率(図 9) が 10%を超えている」

か、「現在は成長中であってこれらの数値に至っていないが、今後これらの数値を超えるであろう土地」を“Forest” (森林) と定義しています。なお、「主として農地や市街地である土地は上述の条件を満たしていても“Forest” (森林) から除外」(図 10) することになっています。具体的には

- ① 樹木が存在すること、そして他の主要な目的に使われていないことの両方を満たした土地が“Forest” (森林) であり、樹高は 5m を下回らない。
- ② 現状では樹冠被覆率が 10%に満たず、樹高が 5mに満たない若い樹木の土地を含む。さらに森林管理の一環として伐採したり、自然災害など

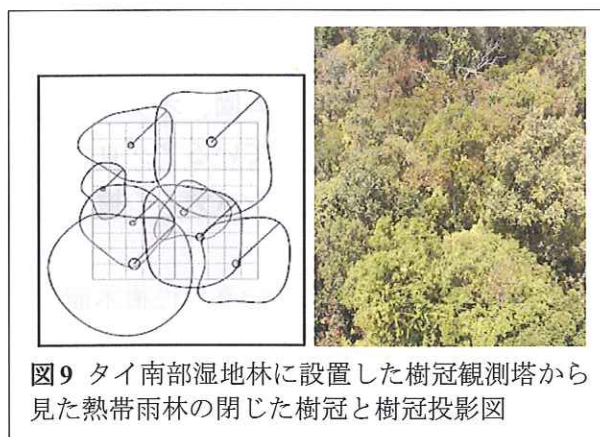


図9 タイ南部湿地林に設置した樹冠観測塔から見た熱帯雨林の閉じた樹冠と樹冠投影図

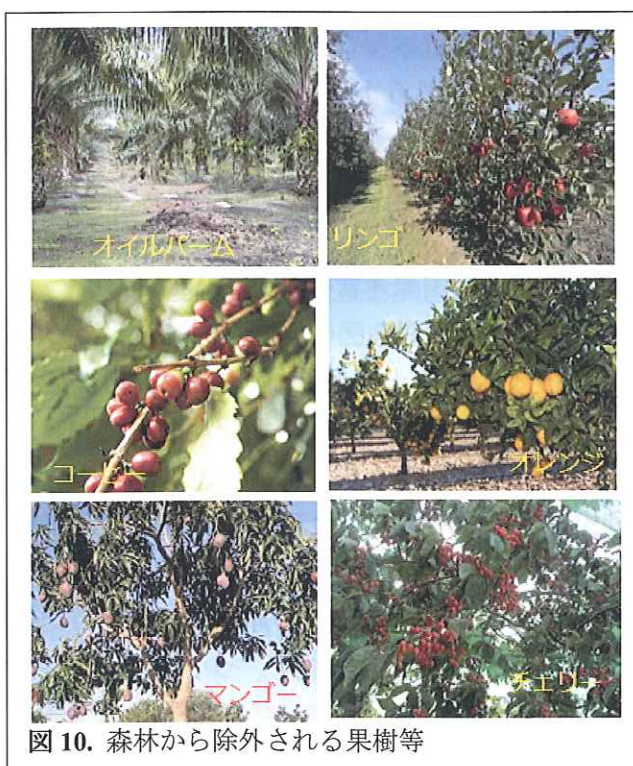


図 10. 森林から除外される果樹等

で一時的に上述の条件を下回っても、5年以内に回復することが期待される土地を含むことにしています(「無立木地」)。例外的に、地域的な条件により、さらに長期の回復期間が認定されることもあります。

- ③ 特別な環境的、科学的、歴史的、文化的、宗教的に貴重な国立公園、自然保護地域、その他の保全地区の森林の林道、防火帯及び他の小さな空間領域を含む。
- ④ 防風林及び 0.5ha 以上で 20m 以上の幅を持つ立木の回廊を含む。
- ⑤ 少なくとも樹冠被覆率 10%以上で樹高 5m 以上に回復すると期待される放棄された耕作地を含む。
- ⑥ その地域が土地として分類されていてもいなくても、潮汐帯のマングローブ林を含む。
- ⑦ ゴム、コルクカシ及びクリスマス・ツリーのプランテーション林を含む。
- ⑧ 土地利用、樹高及び樹冠被覆率を満たしている竹林及びヤシ林を含む。
- ⑨ 果樹園、オイルパーム園、オリーブ園及び樹木の下で作物を栽培しているアグロフォレストリ
ーのような農業生産システムの樹木は除く (図
10 及び図 11)。



図 11. パラグアイでのアグロフォレストリー設置プロジェクト

- ⑩ 樹高が 5m に達しない高地性樹木植生型や乾燥地の潮汐帯に生育するマングローブのような植生で樹冠被覆率が 10%以上の土地を含む。

b) “Wooded Land” (「林地」と和訳できるのでは?)

Forest (森林) の範疇にはならず、面積が 0.5ha 以上で樹高 5m、樹冠被覆率 5-10%の土地、又はその条件に到達するであろう土地、又は灌木 (shrubs)、低灌木 (bushes) 及び樹木 (trees) をまとめて樹冠被覆率 10%の土地を “Wooded Land” と定義しています (図 12)。

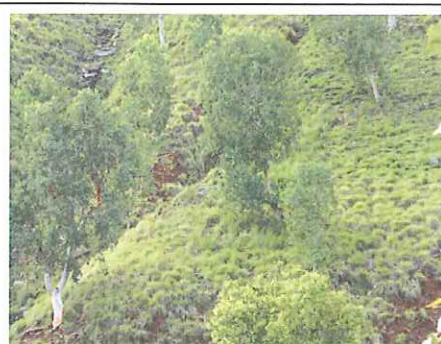


図 12. 東チモールの疎林地

3) 地球地図国際運営委員会 (ISCGM)

ISCGM は、地球地図の整備を促進するために、世界各国の国家地図作成機関 (たとえば日本の国土交通省国土地理院など) の長、国際機関の代表者など 20 名で構成される委員会で、1996 年に設立されました。地球地図とは、地球環境の現状を正確に表す地球上全陸域をカバーする植生及び土地被覆デジタル地図等を示します。完成した地球地図は、インターネットを通じて一般に提供されています (図 13)。つくば市にある国土交通省国土地理院は ISCGM

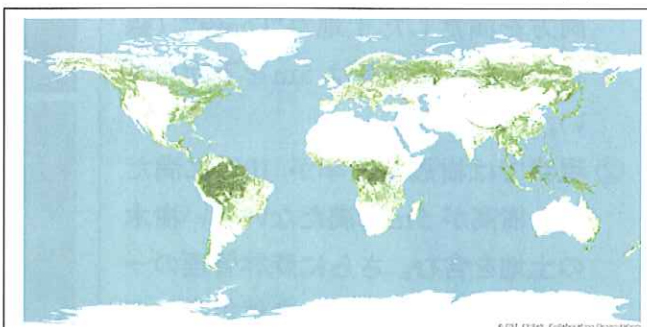


図 13. ISCGM が提供する全球樹木被覆率図

設立当初から地球地図国際運営委員会事務局を担当しています。

ISCGM は、2007 年に「土地被覆(Land cover) 地球地図仕様」第 1.3 版を発行し、その中で次のような土地被覆分類区分をしています。

- ① 森林：樹冠被覆率が 40%以上で、樹高が 3m 以上。樹木作物が含まれる。
- ② 疎林：樹冠被覆率が(10-20)% ～40%。
- ③ 灌木林：樹冠被覆率が(10-20)%以上で、樹高が 0.3m～5m の間。
- ④ 草地林：草の植生からなる。樹冠被覆率が(10-20)%以上で、樹高が 0.03m～3m の間。
- ⑤ まばらな木または灌木を含む草地：草の植生からなる。樹冠被覆率が(10-20)%以上で、樹高が 0.03m～3m の間。まばらな木や灌木を含む。
- ⑥ まばらな植生：まばらな草もしくは木の植生からなる。樹冠被覆率が 1%～(10-20)%の間。

4) 京都議定書第 3 条 3、4 項及び UNFCCC

京都議定書第 3 条及び 4 項は、森林を CO₂ の人為的吸収源として設定し、新規植林 (**A**fforestation、過去 50 年間森林がなかった土地に植林)、再植林 (**R**eforestation、1990 年より前に森林でなかった土地に植林) 及び森林減少 (**D**eforestation、森林を他用途に転換) の活動規定しています。この活動は、これらの英頭文字を取って ARD 活動とも呼んでいます。

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change：国連気候変動枠組み条約) は ARD 活動の対象としての「森林」について、① 最小面積 (0.05～1ha)、② 成熟時の最低樹高 (2～5m)、③ 成熟時の最小樹冠率 (10～30%) の範囲から、2006 年末までに自国の森林を定義することを規定しています。

これは降水量の違い等により、国によって樹木の生育状態や樹冠率が大きく異なり、一律に基準を設定することが合理的でないためですが、すべての場合、FAO の定義を受けて、果樹園、オイルパーム

表 4. 熱帯での樹木及びオイルパームの炭素収支 (tCO₂/ha・年)

	湿地自然樹	オイルパーム	メラルーカ樹
a. 地上部バイオマス成長	4.0	18.3	14.7
b. 地下部バイオマス成長	0.7	5.5	4.4
c. 落葉・落枝	12.8	3.7	3.7
d. 枯れ死木	2.6	0.0	3.7
e. 枯れ死根	3.7	1.1	2.2
f. 被食 (果実の収穫)	0.0	14.7	0.0
g. 純生産 (a+b+c+d+e+f)	23.8	43.3	28.6
h. 地上部の呼吸	13.2	63.4	78.5
i. 根の呼吸	8.8	25.7	34.1
j. 総呼吸 (h+i)	22.0	89.1	112.6
k. 総生産 (g+j)	45.8	132.4	141.2

出典：環境省地球環境研究総合推進費・戦略研究プロジェクト S-2-2a

園、オリーブ園のような農産物を生産する樹木は「森林」から除いています。なお各国が定めた数値を第 1 約束期間内 (2008-2012 年) は変更できないことになっていました。

これを受けて、日本政府は 2007 年 5 月に「京都議定書 3 条 3 及び 4 の下での LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry：土地利用、土地利用変化及び林業部門) 活動の補足情報に関する報告書」を UNFCCC 事務局に送付しました。その内容は、「① 最小面積 0.3ha、② 最小樹冠被覆率 30%、③ 最低樹高 5m、④ 最小の森林幅 20m」であり、この定義は国連食糧農業機関 (FAO) が 2005 年に行った世界森林資源調査 (FRA2005) における我が国の報

告対象森林の定義と一致している」というものでした。

なお、2015年9月、著名な学術誌 Nature 誌に掲載された論文によりますと、世界各地の植生を数多くの研究者が実際の調査から、地球上の樹高 3m 以上の樹木数は 3 兆本であると推定しています(図 4 参照)。最も多いのは熱帯湿潤林の 8,000 億本、ついで寒帯林の 7,500 億本ですが、樹木密度が最も高いのはタイガ (Taïga) として知られている寒帯林とのことです。

4. 地球環境としての森林と食糧生産としての森林

FAO の森林の定義は、温室効果ガス排出、吸収を目的としたものでなく、食糧生産との関連で設定されたもので、果樹等農産物生産のための樹木生育地は、「森林」の定義から除外されています。一方、樹木を温室効果ガス吸収源として位置付けている京都議定書及び UNFCCC では、FAO の「森林」の定義を「借用、適用」していることは妥当なのでしょうか?

果樹等農産物生産のための樹木は果実そのものに加えて、樹木の成長も温室効果ガス吸収源として位置付けなければ、炭素循環を正確にとらえていることにはならないでしょう(表 4 及び表 5)。このことは果樹等に限ったものでなく、穀類、根及び根塊、野菜類、牧草等も主産物に加えて、ワラ等残渣も吸収源として評価すべきでしょう。FAOSTAT はこれら生産物の個々の栽培面積及び生産量を提示しています。

穀類、根及び根塊については、残渣生産率 (RPR: Residual Production Ratio) が論文等で報告されていることから、① FAOSTAT で採用している 40 数種の木本性の果樹、ナッツ、油脂果実等(表 5)、② 主食作物(表 6)について、CO₂ 固定量を計算することを試みてみました。

- ① FAOSTAT で採用している木本性果実 (リンゴ、ブドウ、オレンジ、マンゴー、ペアー等 28 種: 合計栽培面積 3,840 万 ha、生産量 4 億 4,387 万 トン)、木本性油用植物 (オイルパーム、ココナッツ、オリーブ、トウゴ等 9 種: 合計栽培面積

表 5 木本性植物からの農産物生産量 (2018 年)

	生産量 1,000 トン	栽培面積 1,000ha
木本性果実生産		
リンゴ	86,142	4,904
ブドウ	79,126	7,158
オレンジ	75,413	4,470
マンゴー等	55,384	5,749
ミカン類	34,393	3,639
その他	113,414	12,447
合計	443,873	38,366
木本性油生産		
オイルパーム	272,055	18,917
ココナッツ	61,865	12,381
オリーブ	21,066	10,513
トウゴマ	1,396	1,297
その他	4,894	1,732
合計	361,277	44,841
木本性ナッツ生産		
カシュナッツ	5,933	5,973
クルミ	3,663	1,159
アーモンド	3,183	2,072
クリ	2,354	613
他	1,376	1,167
合計	1,892	1,693

表 6. 穀類及び根菜類の生産量 (2018 年)

	生産量 1,000 トン	栽培面積 1,000ha
穀類		
メイズ	1,147,622	193,734
コメ	782,000	167,133
コムギ	734,045	214,292
オオムギ	141,423	47,929
ソーガム	59,342	42,143
他	98,435	62,862
合計	2,962,868	728,091
根菜類		
ジャガイモ	368,169	17,579
キャッサバ	277,809	24,591
サツマイモ	91,945	8,063
ヤムイモ	72,581	8,691
タロイモ	10,640	1,660
他	10,988	1,468
合計	832,132	62,051

4,480 万 ha、生産量 3 億 6,100 万^ト）及び木本性ナッツ（カシュナッツ、クルミ、アーモンド、クリなど 8 種：合計栽培面積 1,690 万 ha、生産量 1,890 万^ト）について（表 5）、可食分及び生産樹木による年間炭素固定量の概算は次のように行ってみました。

まず、可食分については、それぞれの果実等の含水率を 15～85%と推定し、果実の主要成分は糖であることから炭素量は果実絶乾重量の 45%、そして年間の果実生産量から推定しました。その結果、果実等生産物による CO₂固定量は少なく見積もって総計で 1.7 億 tCO₂/年と計算されました。

次に、果樹等生産樹木による年間炭素固定量の推算ですが、果樹等生産樹木の値はほとんどないので、種々の樹木の数値から推し量ることとしました。熱帯での純一次生産は湿地自然林で 23 tCO₂/ha・年、オイルパーム及びメラルーカ林で 28 tCO₂/ha・年（表 4）と考えられます。国立研究開発法人森林総合研究所の稲垣昌宏氏は FAO, 2006. Global Planted Forests Thematic Study: Results & Analysis. FAO, Rome を引用してアカシア・マンギウム (*Acacia mangium*) とユーカリ・グロブラス (*Eucalyptus globulus*) の成長量について、それぞれ 40m³/ha・年及び 70m³/ha・年と報告しています（稲垣, 2014. 早世樹人工林の生産と養分の利用, 九州の森と林業, No.109）。

これは、それぞれ 37 tCO₂/ha・年及び 64 tCO₂/ha・年と計算されます。やはり森林総合研究所の後藤義明氏他は、毎木調査で京都府南部地方における広葉樹二次林に生育する約 50 種の樹種の地上部現存量及び純生産量を測定し、純一次生産量の平均値は 15.84t/ha・年、すなわち 29 tCO₂/ha・年であることを報告しています（後藤他, 2003. 京都府南部地方における広葉樹二次林の地上部現存量及び純生産量, 森林総合研究所研究報告, Vol.2 (No.387): 115-147）。なお、日本の国有針葉樹林で 7.5 tCO₂/ha・年（表 2 から換算）とされています。

果樹等を生産する樹木も当然成長しているが、該当する樹木の純一次生産のデータはない。そこで、年間の純一次生産量については、上述の種々の樹木の年間蓄積量のデータを参考にし、樹木の 1ha 当りの年間純一次生産量をそれぞれの樹木の樹高をイメージして 3.7～15.0 tCO₂/ha・年と低めに設定しました。この値と FAOSTAT に掲載されている栽培面積から、樹木

表 7. 農作物副産物生産率 (RPR)

	主産物 t 生重	副産物乾重 /主産物乾重
イネ	1.000	1.351
コムギ	1.000	1.194
オオムギ	1.000	1.194
ジャガイモ	1.000	0.043
ナガイモ	1.000	0.035
サトイモ	1.000	0.103
ダイズ	1.000	1.222
アズキ	1.000	0.755
ハクサイ	1.000	0.022
トマト	1.000	0.029
キャベツ	1.000	0.051
ダイコン	1.000	0.035

松本、袴田, 1994. 資源・生態管理研究収録, 10: 35-42

主産物	残 渣	RPR
サトウキビ	バガス	0.250 ¹⁾
	頂部・葉等	0.302 ²⁾
イネ	モミ	0.230 ³⁾
	ワラ（頂部）	0.447 ¹⁾
オイルパーム	空果房	0.428 ⁴⁾
	繊維	0.147 ⁴⁾
	種子殻	0.049 ⁴⁾
	フロンド	2.604 ⁴⁾
ココナッツ	雄房	0.233 ⁴⁾
	ハスク	0.362 ⁴⁾
	種子殻	0.160 ⁴⁾
	フロンド	0.225 ⁴⁾
キャッサバ	茎	0.088 ¹⁾
メイズ	芯	0.250 ³⁾
落花生	殻	0.323 ¹⁾
コットン	茎	3.232 ¹⁾
ダイズ	茎、葉、殻	2.663 ²⁾
ソーガム	葉、茎	1.252 ²⁾

1) Bhattachaya, S.C.他 1989. 2) DEDP, Thailand. 1992. 3) Black & Veatch (Thailand), 1999. 4) DEDP, Thailand Report. 1994.

性果実等による CO₂ 固定量の総計を推定しました。その結果、極めて低く見積もって、果樹林等が固定している CO₂ 量は 11.3 億 tCO₂/年となり、可食部生産物のそれ 1.7 億 tCO₂/年と合わせて 13 億 tCO₂/年と計算されました。これは 2014 年の世界の CO₂ 排出量 329 億 tCO₂/年の約 3.5%に相当します。なお、2013 年の日本の CO₂ 排出量 13 億 tCO₂/年にほぼ匹敵します。

一般的には人類が食用とはしていませんが、鳥類を含めた多くの野生動物が食餌にしている野生の「木の実」をつける樹木は数多くあります。UNFCCC ではそれら樹木を含む森林を「森林」として認定しているのです。にもかかわらず、人が食する果実を生産する果樹林を「Forest」から除外することは説明できないことはいうまでもありません。しかも人が食する果実を生産する果樹林は、上述のように世界の人為的に排出された温室効果ガスの量に有意に影響する CO₂ を固定しているのです。

② 穀類（メイズ、コメ、コムギ、オオムギ等 15 種：2018 年の合計栽培面積 7 億 3,000 万 ha、生産量約 30 億ト）はもちろん、根及び塊茎類（ジャガイモ、キャッサバ、サツマイモ、ナガイモ等 6 種：同合計栽培面積 6,200 万 ha、生産量 8 億 3,200 万ト）も主食として、極めて広い農地（合計で約 8 億 ha、全農耕地 14 億 1,000 万 ha の 57%）で栽培され、合計 36 億 5,600 万トが生産されています（表 6）。この穀類の

表 9. 穀類、根及び塊茎類による CO₂ 固定量の推算

	産出量 百万ト	CO ₂ 固 定 百万ト	算出基礎
穀類 生産物	2,820	3,910	水分量 15%、炭素量 44% RPR 1.2, 炭素量 50%
残渣量	3,380	6,200	
計	6,200	10,100	
生産物	839	271	水分量 80%、炭素量 44% RPR 0.05, 炭素量 50%
残渣量	42	77	
計	881	348	

生産物だけで、30 億トですが、これは含水率 15%ですから乾燥重量は 24 億トほどになります。主成分はデンプン[(C₆H₁₀O₅)_n]なので、炭素含有量は 44.4% (72/162 x 100)、したがって炭素量は 10 億 7,000 万トとなります。これは 10.7 x 44/12 = 39 億トの CO₂ を固定した賜物です。

根及び塊茎類の生産量生重は 8 億 3,200 万トであり、含水率が 80%（松本、袴田. 1994. 資源・生態管理研究収録, 10: 35-42）であることから、乾燥重量は 1 億 7,000 万トです。主成分は穀類と同じデンプンですから炭素量は、7,500 万ト、固定された CO₂ 量は 2 億 7,000 万トと計算されます。穀類と併せて 41 億 8,000 万トの CO₂ が食用となる部分に固定されていることになります。

加えて、穀類や根及び塊茎類の主産物以外の副産物（ワラ等残渣）の発生量から、副産物への CO₂ の固定について検討してみました。発生量については、「残渣発生率」(Residual Production Ratio: RPR)を用いることとなりますが、いくつかの研究資料を利用することが可能です。一つは農業環境技術研究所時代の 1994 年に松本成夫氏及び袴田共之氏が報告した「農村地域における有機物フロー推定のためのデータベースの構築. 1. 農作物副産物、畜産廃棄物、食生活廃棄物の産出量整理」（資源・生態管理研究収録, 10: 35-42, 1994）、広島大学村松幸彦氏らによる “Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan”（Matsumura, Y., Minowa, T., Yamamoto, H. 2005.）

双子葉植物は草本植物及び木本植物の両者、そして単子葉植物の多くの種が草本植物です。

表 10 植物の組織とリグニンの芳香核の特徴

	成長組織		通導組織		リグニン芳香核		モイレ呈色
	肥大	その他	道管	仮道管	G 核	S 核	
シダ植物		○		○	○		-
裸子植物	○			○	○		-
被子植物							
双子葉植物	○		○		○	○	+
単子葉植物		○	○		○	○	+

G 核：グアヤシル核、S 核：シリングル核

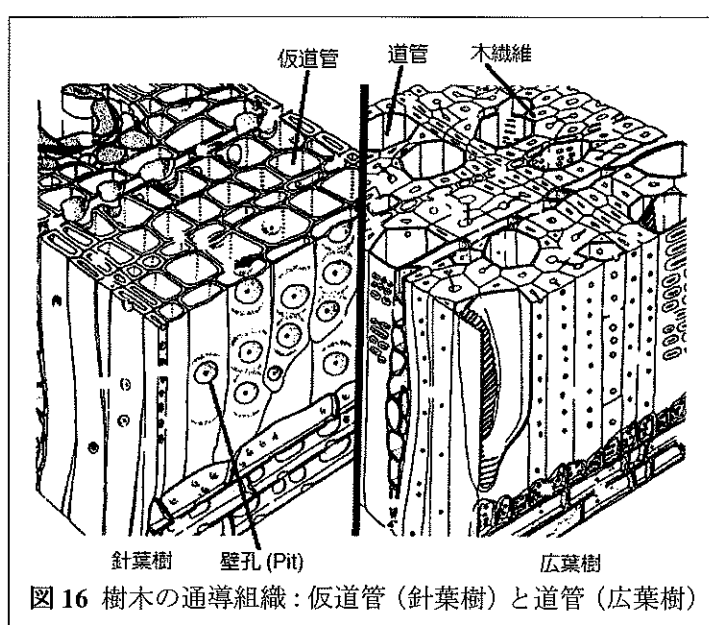
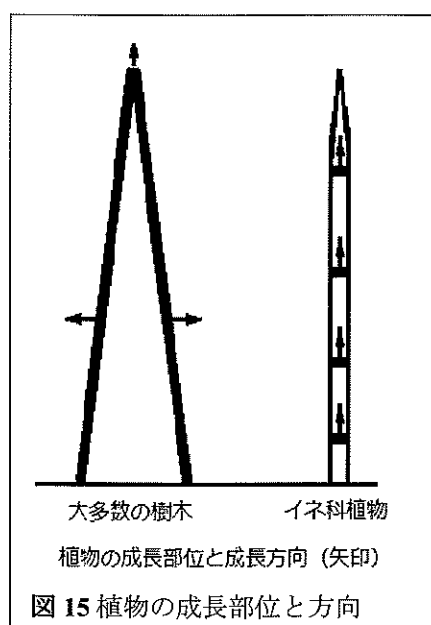


表 11 一般の分類の範疇から外れた植物

植物		道管		仮道管		リグニン芳香核		モイレ呈色
		肥大	その他	道管	仮道管	G 核	S 核	
シダ	オシダ科		○		○	○		-
	イワヒバ科		○	○		○	○	+
	木生シダ	△	○		○	○		-
裸子	イヌマキ	○		△	○	○	△	+-
	シナマオウ		○	○		○	○	+
	ウィルケッチア	○			?	?	?	?
双子葉	ヤマグルマ	○			○	○	○	+
	センリョウ	○			○	○		+
	パパイア		○	○		○	○	+
単子葉	タケ		○	○		○	○	+
	オイルパーム	△	○	○		○	○	+
	コーディリナ	△	○	○		○	○	+

本論の課題の 1 つ、「木本植物」と「草本植物」の違いですが、これまで下記の視点が指

摘されています。

① 木本植物は背が高く、草本植物は低い。後に述べる形成層で肥大成長する植物ですが、樹高が0.3m 以下の木本植物、例えば裸子植物のウィルウィッチア (*Welwitschia mirabilis*)、被子植物双子葉類のツガザクラ (*Phyllodoce nipponica*) や、背丈が3~4m になり資源植物として注目されている被子植物単子葉類イネ科草本植物のエリアンサス (*Erianthus arundinaceus*) (図17) など多くの範疇外の植物があります。

② 木本植物は多年生、草本植物は1年または長くて数年生。例えば1985年、つくばで開催された科学万博でのトマト (図18) のように、1年生の植物であっても条件さえ整えれば木のように成長し続けることができます。身近な植物では、懸崖を形成するキクは多年生であり、幹は木本的です。

③ 形成層があり肥大成長する植物が「木本植物」で、形成層がなく、肥大成長しない植物が「草本植物」。しかし、高木となるヤシやタケを初めとする単子葉植物及びシダ植物の木生シダなどに形成層はないが、樹頂の成長点の成長にともなって肥大成長します。なお、維管束植物の成長する部分は、① 茎及び枝の先端(すべての高等植物)、

② 形成層(肥大成長する植物)、③ 節直上(単子葉類のイネ科)です(図15)。被子植物の単子葉類にも高木となるヤシ科(*Areaceae*)の植物群がある。熱帯地域を中心に250属、3,000種以上が知られています。これらは形成層が認められていない。しかし単子葉植物ユリ目リュウゼツラン科コルディリネ属(*Cordyline*)の*Cordyline australis*のように形成層により成長する植物もあります。

④ 幹が木化するのが木本植物で、草本植物は木化しません。ところで「木化=木質化」の英語は Lignify、Lignification、つまり芳香族からなるリグニンが細胞壁の主要な構成成分として生合成することを指していて、「木本植物」であろうが「草本植物」であろうが、すべての高等植物(維管束植物)は木化しています。リグニンがないと植物は直立できませんし、植物体全体に水を供給する維管束組織を作ることできません。

水中に完全に沈んだ維管束植物、「海草」(Sea grass) (「海藻」ではない) や「水草」があります。例えば著名な海水沈水性の単子葉類アマモ科アマモ (*Zostera marina*)、淡水沈水性の単子葉類トチカガミ科のオオカナダモ (*Egeria densa*)、双子葉類キンポウゲ科のバイカモ (*Ranunculus nipponicus*) などです。トチカガミ科の植物のほとんどが沈水性であ

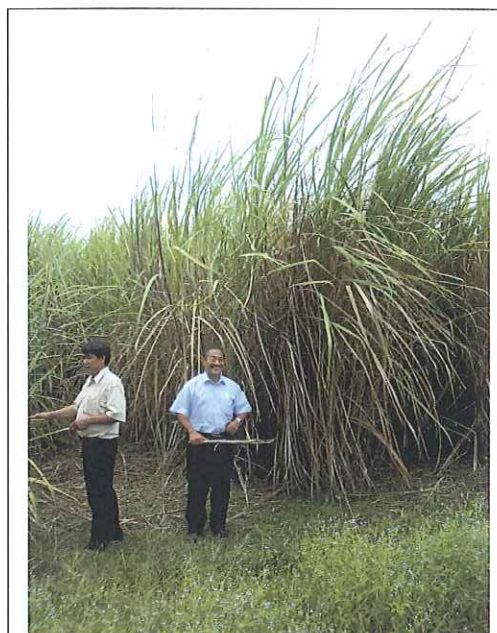


図17 エリアンサス



図18 巨大なトマトの「樹」

り、18 属 100 種ほどが知られており、ポピュラーな植物です。これらは沈水している、すなわち浮力で「無重力」状態にあり重力に抗して直立する必要がないこと、さらに周囲の水圧と釣り合っていることから維管束組織を補強する必要が無いにもかかわらず、陸上植物に比べ量は少ないですがリグニンを有しています。

- ⑤ 生態学的には「耐性芽(厳しい季節を乗り越えるための越冬芽など)が地面より高いところにあるのが木」で、そうでない(つまり地下や地表に)のが草。すなわち地上にある茎を何年も使うのが木で、地上部は一年で使い捨てにするのが草というものです。この分類に従うと、タケは草に分類されることになります。

残念ながら以上の特徴では、いずれも木本植物と草本植物を正確に定義することはできません。

最後に、植物の分類上の特徴について以下に触れておきます(表 10 参照)。

- ① 植物に進化は一元的ではないのでは。一般的には、維管束植物はシダ植物から裸子植物に進化し、さらに裸子植物から被子植物に進化したとされています。そして被子植物の双子葉植物から単子葉植物が進化したと考えられています(図 14)。しかし、シダ植物から裸子植物への過程にある植物群が化石から知られているが、裸子植物から被子植物への移行の植物群が見つからないのです。さらに、シダ植物と裸子植物のリグニンの主要な芳香核構造がグアヤシル核であり、シリリングル核はないが、被子植物のリグニンはグアヤシル核とシリリングル核で構成されています。ところがシダ植物の中でも、形態的に最も初期に発生したと考えられているヒカゲノカズラ植物門イワヒバ科に属するシダ植物のリグニンは軒並み、グアヤシル核とシリリングル核で構成されていることが明らかにされています(Jin, Z. et al. 2005. Proof of the presence of guaiacyl-syringyl lignin in *Selaginella tamariscina*. J. Wood Sci., 51(4): 424-426; Jin, Z. et al. 2007. Structural characteristics of lignin in primitive pteridophytes: *Selaginella* species. J. Wood Sci., 53(5): 412-418)。このことは、被子植物はこのイワヒバ科植物から進化してきた、すなわち植物の進化はシダ植物から裸子植物そして被子植物という一元的なものではなく、二元的進化を考える必要があるのではないのでしょうか。図 14 ではそのことを考慮して作成しています。
- ② 一般とは異なる通道組織等を有する植物。一般に裸子植物の通道組織は仮道管であり、被子植物のそれは道管です(図 16 及び表 10 参照)。イヌマキ(*Podocarpus macrophyllus*)は裸子植物マキ科(*Podocarpaceae*)の植物に分類されているが、仮道管に加えて道管も併せ持ち、リグニンの芳香核もシリリングル核を持っています。裸子植物のほとんどは木本ですが、裸子植物グネツム目マオウ科のシナマオウ(*Ephedra sinica*)は見た目が草本であり、仮道管ではなく道管を有し、リグニンも被子植物と同様、シリリングル核を持っています。逆に、被子植物のヤマグルマ科ヤマグルマ属の 1 科 1 属 1 種の植物であるヤマグルマ(*Trochodendron aralioides*)及びセンリョウ科の常緑小低木のセンリョウ(*Sarcandra glabra*)は、維管束は道管ではなく仮道管です。センリョウのリグニンは裸子植物と同じグアヤシル核だけで構成されていますが、ヤマグルマのリグニンはグアヤシル核及びシリリングル核で構成されています(Jin, Z. et al. 2007. Lignin characteristics of peculiar vascular plants. J. Wood Sci., 53(6): 520-523)。

以上のように、植物の分類についてもまだまだ明らかにすべき点が残されているのが現状です。

(追) 2020 年 10 月 26 日第 203 回臨時国会の開会にあたって菅首相は所信表明で「2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち 2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しました。