

森林伐採と環境問題 その 3

熱帯雨林の生長速度と伐採について

Environmental Load Evaluation of deforestation No. 3
Growth rate and felling of rain forest.

鈴木 誠二
SEIJI SUZUKI

In these days we often hear that if deforestation is only the felling act, the form to be fixed of the carbon dioxide is maintained, and there is not the outbreak of the carbon dioxide unless we burn it up (carbon dioxide is not released by felling only by fixed form and place of the carbon dioxide changing), or because originally it was in the atmosphere, as for the carbon dioxide, quantity of the atmospheric carbon dioxide does not increase even if we burn wood. However, it is necessary to evaluate degree of the load that it gives in environment that fixed activity of the carbon dioxide due to the tree stops definitely, even if there is not the outbreak of the carbon dioxide by the growth of the tree, and it got a result to increase environmental load to repeat short-term felling. Absorption efficiency of the carbon dioxide due to the tree is good in the opportune time from a period of growth, therefore, we should avoid felling as much as possible at this time. It is important to push forward management planting felling at suitable distance by condition of the growth of the tree, it should not decide the distance from the commercial need. Here we fixed Richards' equation to the growth rate equation of rain forest, and discussed the effect of the felling forest on reducing CO₂ conc. in the atmosphere. I proposed the equation how to estimate the rate of the growth trees.

words; Deforestation, carbon neutral, carbon dioxide, growing rate, Richards' equation

はじめに

1997年に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締結国会議（COP3、京都会議）では、先進国及び市場経済移行国の温室効果ガス排出の削減目的を定めた京都議定書が採択された。以来、地球の温暖化問題に対して人類が中長期的にどのように取り組むべきかという道筋が定められた。その結果、大気中の温暖化ガス（とりわけ炭酸ガス）の削減目標がさだめられ、先進国がこれに取り組むこととなった。こうして、自動車業界はガソリン車からハイブリッド車への移行、化石燃料を使用している電力業界は、クリーンな再生エネルギーによる発電、そして、各種の電気部品ではエネルギー消費の効率化など、炭酸ガスの排出量の削減に対して様々な努力がなされてきた。こうした中で、大気中の炭酸ガスの濃度削減に寄与している森林の伐採が問題視されるようになった。一方、日本では、木造建築が地震国として耐震性に優れていることから、古くから伝統的に実施されており、これに使用される森林資源の量も決して少なくはない。建設業界の存続にはどうしても木材が必要になり、森林伐採をしないわけにはいかない。また、文明社会で必要となる紙についても、その製造の元となるパルプは、木材だし、その需要は文明化とともに飛躍的に増大している。これもパルプの入手手段としての森林伐採をやめるわけには行かない。そうした中で生まれてきたのがカーボンニュートラルという考え方だ。1),2),3),4)

カーボンニュートラルとは、「いくら森林を伐採しても、もともと樹木は、大気中の炭酸ガスを吸収して成長したものであり、従って、古い材木を焼却処分しても、発生してくる炭酸ガスは、吸収した炭酸ガスであるので、こうした活動により大気中の炭酸ガスの濃度が上昇するわけではない。」という理論である。従って、地球の温暖化の原因となっている炭酸ガスの濃度上昇は、森林の伐採に起因するのではないと説明している。このカーボンニュートラルという考え方が、国際社会での炭酸ガス濃度上昇を議論するときの理論として大勢を支配している。

しかしながら、このカーボンニュートラルの中味を考えてみれば、炭酸ガスの濃度についての時間的スパンの考慮が抜けていることは確かだ。建築資材としての利用では、数十年スパンでの話しである。しかしながら、地球環境問題、熱帯雨林の伐採による環境破壊の問題は、何十年、何百年

の時間の問題ではない、現時点での問題なのである。^{5),6)}

森林資源の場合には、炭酸ガスがどのように排出されるかではな。これを地球規模で考えた場合には、大気中の炭酸ガスを吸収し、その濃度を下げる効果がある。つまり、森林伐採については、カーボンニュートラルとして考えるのではなく、カーボンポジティブ（排出される二酸化炭素の量が吸収される二酸化炭素の量より少ないこと）なのであり、これにより、大気中の炭酸ガスの濃度のバランスを保っているのだ。文明化により、これからますます大気中の炭酸ガスの濃度は上昇するだろう。そして、この森林資源による炭酸ガスの吸収があるとして、炭酸ガスの濃度を低下させるにしても、そのバランスをとる事はできないであろう。その結果、炭酸ガスの濃度が上がることになるだろうが、しかし、森林伐採を抑えることが、その濃度上昇のスピードを下げることは確かだ。つまり、今、われわれがしなければならないのは、文明化とともに急上昇している炭酸ガスの濃度上昇のスピードを押さえることであり、そして、炭酸ガスの濃度を下げるスピードを下げないといけないということだ。自動車産業で取り組んでいる燃費の向上は前者の問題であり、森林の伐採を抑えることは、後者の問題なのである。

こうした視点にたち、森林資源の保護、ならびに、森林の破壊についてはこれまでも沢山の議論がなされてきた。^{7),8),9),10),11),12),13),14),15)}しかし、問題は、森林資源という観念から議論するだけでは不十分であり、他の産業、さらには、個々の産業活動と関連づけて議論する必要がある。そして、議論をするためには、共通の基盤の上に立つ必要があり、そのひとつの手段が、考える時間的なスパンを合わせることであり、そして、炭酸ガスの濃度の増減については、時間軸をしっかりと設けることである。このようなことから、炭酸ガスの濃度変化の速さという概念を導入することが必要となる。

カーボンニュートラルでは、炭酸ガスの量を議論しているものであり、そこには、時間軸と言う物が考えられていない。森林伐採が問題ないと言うのであれば、では、全ての森林を伐採したら、その後の大気中の炭酸ガスの濃度がどうなるかを考えてみれば、この説には限界のあることは明白だ。林野庁も、森林資源の伐採と植林を管理するという考えで、こうした問題の解決をはかっており、成果を上げているが、^{16),17)}しかし、カーボンポジティブな植林という活動の数値的な効果を評価するためには、樹木の成長の過程を考慮しなければならない。そこで、ここでは、先に鈴木が検討した、天城のスギ林の成長に関する Richards の式の適合性を念頭に、熱帯雨林についてそこにおける樹木の成長速度の数式化を計り、そして、熱帯雨林の伐採がどのように大気中の炭酸ガスの濃度の変化に影響を及ぼしているかを議論した。

1. 熱帯雨林の炭酸ガス固定能力について

成長する樹木の炭素固定量の変化を同時並行的に、かつ、動力的に検討するために、既往の研究を紹介すると、炭素固定量についての解析的手法としては、Charlene Watson¹⁸⁾や、Hirschらの報告¹⁹⁾がある。また、Marhiらは、熱帯雨林、温帯森林、さらに、寒冷地の森林について炭素固定がどのような形でなされているかの詳しい研究をしている。たとえば、その結果は、図一1に示したような形で、年間の炭素の蓄積量($\text{g/m}^2 \cdot \text{年}$)が数値化されている²⁰⁾。

また、Charlene Watsonは、森林の状況により樹木の成長速度がそれぞれ異なること、そして、自然林の場合に、熱帯雨林の成長速度は温暖地域の樹木のおよそ2倍であることを指摘している。また、森林吸収源検討会²¹⁾、日本製紙連合会²²⁾、あるいは只木²³⁾によれば、木は、生息する気候帯、樹種によることなく、炭素固定能力が樹齢に応じてある一定の傾向をもって推移すること、そして、熱帯林は、杉林の1.7倍の炭酸ガスを吸収すると報告している。

表-1 炭素固定量から見た森林の成長速度¹⁸⁾

Climate Domain	Ecological Zone	AGB in natural forest (t/ha)	AGB in forest plantation (t/ha)	AGB growth in natural forest (t/ha/yr)	AGB growth in forest plantation (t/ha/yr)
Tropical	Tropical rain forest	300	150	7.0	15.0
	Tropical moist deciduous forest	180	120	5.0	10.0
	Tropical dry forest	130	60	2.4	8.0
	Tropical shrubland	70	30	1.0	5.0
	Tropical mountain systems	140	90	1.0	5.0
Subtropical	Subtropical humid forest	220	140	5.0	10.0
	Subtropical dry forest	130	60	2.4	8.0
	Subtropical steppe	70	30	1.0	5.0
	Subtropical mountain systems	140	90	1.0	5.0
Temperate	Temperate oceanic forest	180	160	4.4	4.4
	Temperate continental forest	120	100	4.0	4.0
	Temperate mountains systems	100	100	3.0	3.0
Boreal	Boreal coniferous forest	50	40	1.0	1.0
	Boreal tundra woodland	15	15	0.4	0.4
	Boreal mountain systems	30	30	1.0	1.0

source IPCC, 2006

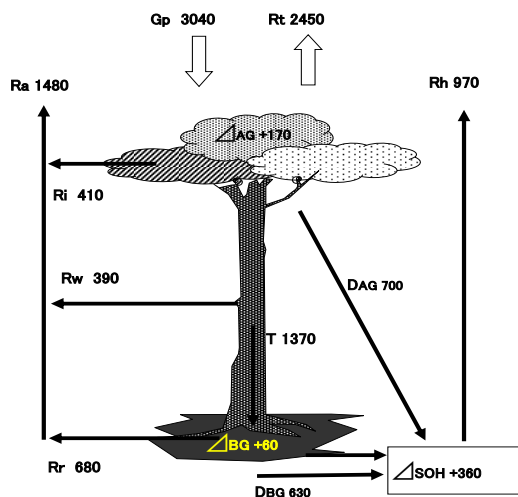


図-1 熱帯雨林における炭素の蓄積²⁰⁾

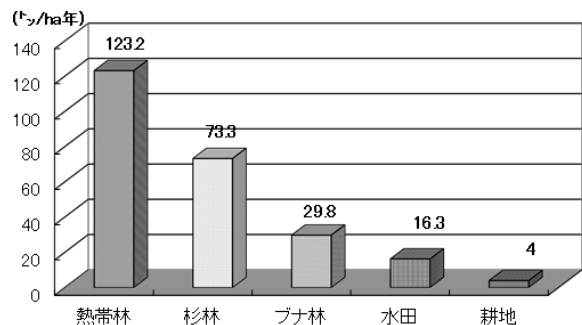


図-2 森林の炭素固定量比較

熱帯雨林でどの程度に成長したものが伐採されているかについては、Cossalter らの報告がある。これによれば、温帯林などでは、10～20 年間隔で伐採が行われるのに対し、熱帯林の場合には、6—7 年と報告されている。表—2 に熱帯林がどの程度で成長するのかを示したが、これからも伐採が 7 年前後でなされていることがうなづける。また、成長の速さについては、温度差、ならびに、雨量の関係から、熱帯林の場合には、その成長速度は、温帯樹林に比べて、2 倍の速度で進行するといわれている。

表一2 熱帯雨林の成長速度¹⁵⁾

樹 種	平均成長速度 (m/ha/year)	成熟に要する時間 (年)	おもな植栽国
ユーカリ交配種	15 - 40	5 - 15	ブラジル、南アフリカ、ウルグアイ、 インド、コンゴ
その他の熱帯産 ユーカリ	10 - 20	5 - 10	中国、インド、タイ、 ベトナム、マダガスカル
熱帯産ユーカリ	5 - 18	10 - 15	チリ、ポルトガルスペイン、 アルゼンチン、ウルグアイ
熱帯産アカシア	15 - 30	7 - 10	インドネシア、中国、マレーシア ベトナム、インド、フィリピン
カリビアマツ	8 - 20	10 - 18	ベネズエラ
<i>Pinus patula</i> と <i>P.elliottii</i>	15 - 25	15 - 18	スワジランド
<i>Gmelina arborea</i>	12 - 35	12 - 20	コスタリカ、マレーシア、 ソロモン諸島
<i>Paraserianthes falcataria</i>	15 - 35	12 - 20	インドネシア、マレーシア、 フィリピン
ポプラ	11 - 30	7 - 15	中国、インド、マレーシア

以上のようなデータを元に、熱帯林の成長について、次のような仮定をし、その成長の度合いを求めた。

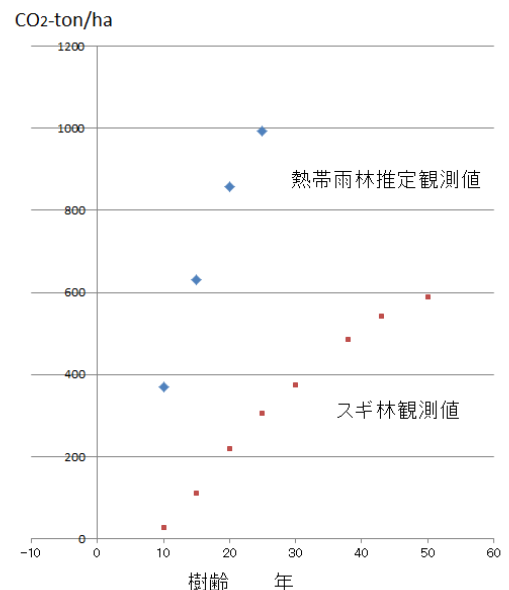
- ① 樹木の成長の樹齢に対する変化には、類似性がある。
つまり、杉林も熱帯樹も同じようなカーブで成長する。
- ② 熱帯林の成長の早さは、温帯林よりは2倍速い。
熱帯林の成熟は、温帯林の半分の期間で進む。
- ③ 熱帯林の炭酸ガスの固定量は、杉林の1.7倍とする。
- ④ 植林してから、10年目までの樹齢による変化も同じような形になるものとする。

こうして得られた熱帯雨林成長の状況を図一3に示した。ここで参考にした、さまざまな炭酸ガス固定のデータは、検討項目によりその単位も異なり、また、調査の方法にも差があるが、熱帯雨林の樹木の成長の具合もこのように進むものとして、さらに議論を進めて行きたい。

2. 熱帯雨林樹木の成長スピード

2.1 成長スピードのモデル化

樹木の成長スピードについては、森林資源の保護を如何に進めるかということから、数多くの観測データが報告されている。しかしながら、一口に森林資源といっても、熱帯雨林、温帯林、そして、寒冷地の森林とあり、かつまた、そこに成長している樹木の種類は無数にある。地域による違い、樹木の種類による差などあるが、そこにはある一定の傾向があると確認されている。とは言え樹木の成長については、個々の報告は数多くあるものの、それらの成長過程については、これらを統一的に表現する手段は報告されていない。そこで、筆者は、樹木の成長で共通している事項は、成長が樹木の炭酸同化作用によって起こることと考えた。更に、この炭酸同化作用という化学反応で最も反応速度を支配している（専門用語で



図一3 熱帯森林の炭素固定量

$$Y(t) = A + \frac{K - A}{(1 + Qe^{-B(t-M)})^{1/\nu}}$$

.....(5)

Richards の式中の定数の解釈

ここで、A は、幼年期の漸近線値で在り、0 である。

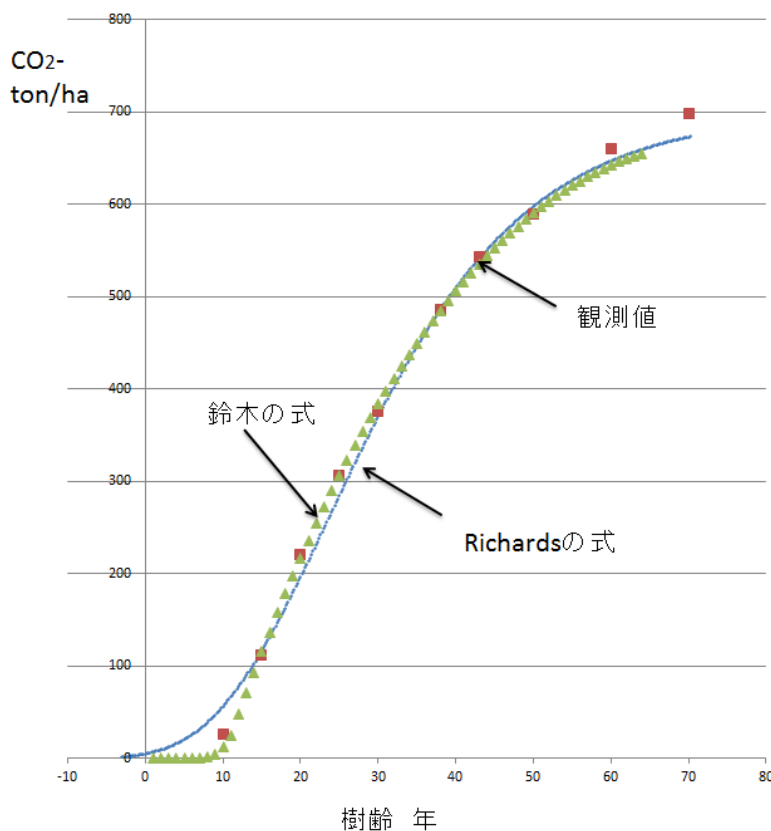
K は、成長の限界を示すものであるが、成長限界までの許容能力として、マイナスで表現されている。

B は、成長期の成長速度

Q は、成長初期の速度に関するもの

ν は、成長初期の速度に関するもの

M は、成長期立ち上がりまでの期間



図一5 Richards の式と鈴木式の成長曲線の比較
天城のスギ林の場合

したがって、熱帯雨林についても、同様に Richards の式の適合が考えられる。Richards の式における定数を温帯雨林のものと比較すれば、成長の要素においてどのような違いがあるかも議論できる。そこで、熱帯雨林についても、温帯林であるスギ林と同様にして、Richards の式における定数を求めた。

定数の求め方は、既に述べたが、ここでは、表一3 のような値を使用した時の結果を図一3 に示した。

表-3 Richards の式の定数 (熱帯雨林の場合)

case	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0	0	0	0	0	0	0	0
K	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200	-1200
B	0.2	0.1	0.11	0.15	0.014	0.14	0.015	0.14
Q	0.002	0.005	0.003	0.001	0.001	0.0008	0.0012	0.0012
v	0.0005	0.0002	0.0003	0.0004	0.00045	0.00045	0.001	0.00045
M	5	5	5	5	5	5	5	5

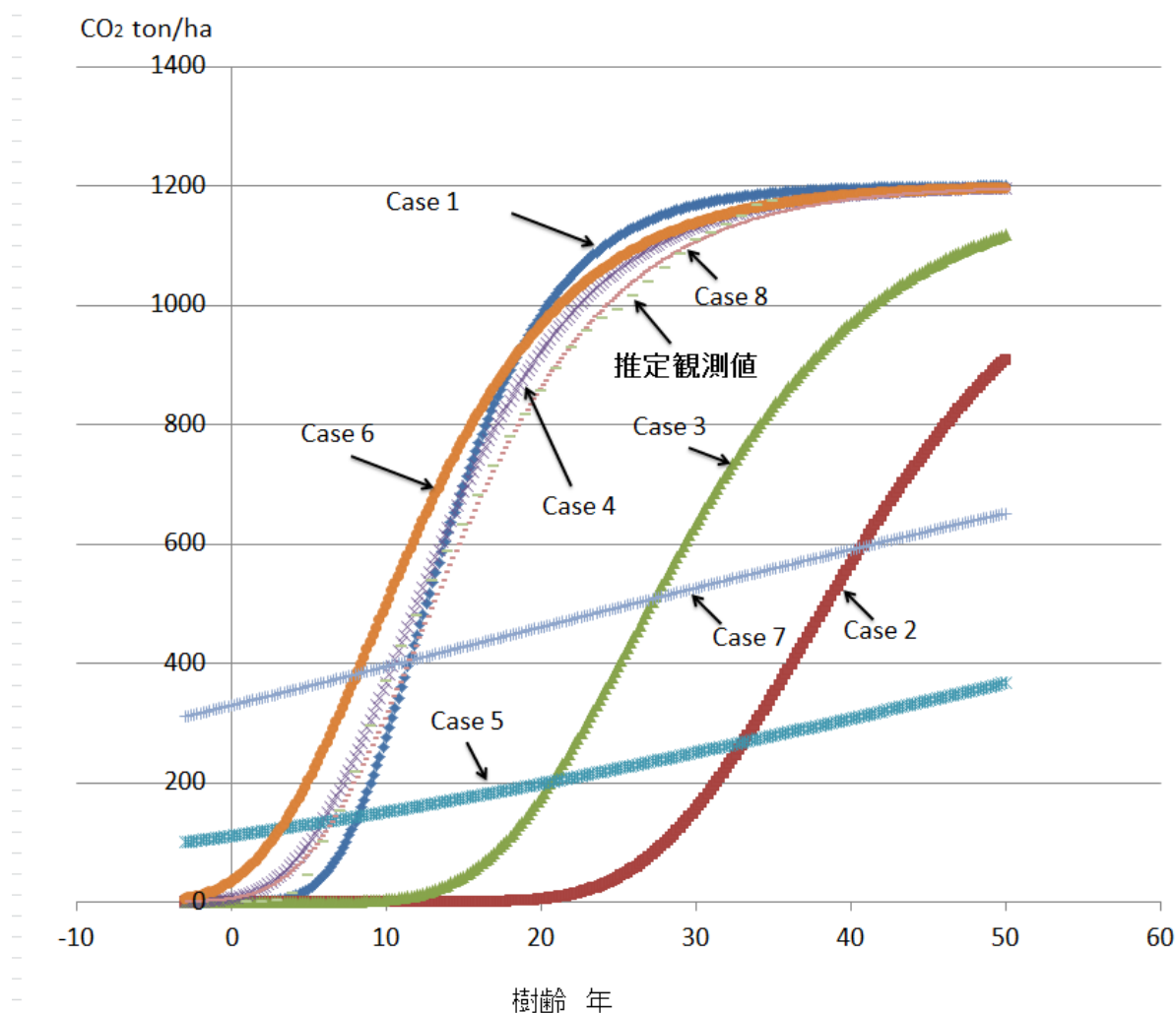


図-3 表-3 に定数を用いた Richards の式による成長状態 (熱帯雨林の場合)

この図から、それぞれの定数により、どのような成長曲線になるかがよく分かる。こうした点を考慮して、最も推定された観測値に近い曲線を示したものが、case 8 であった。推定観測値との整合性を図-4 に示した。

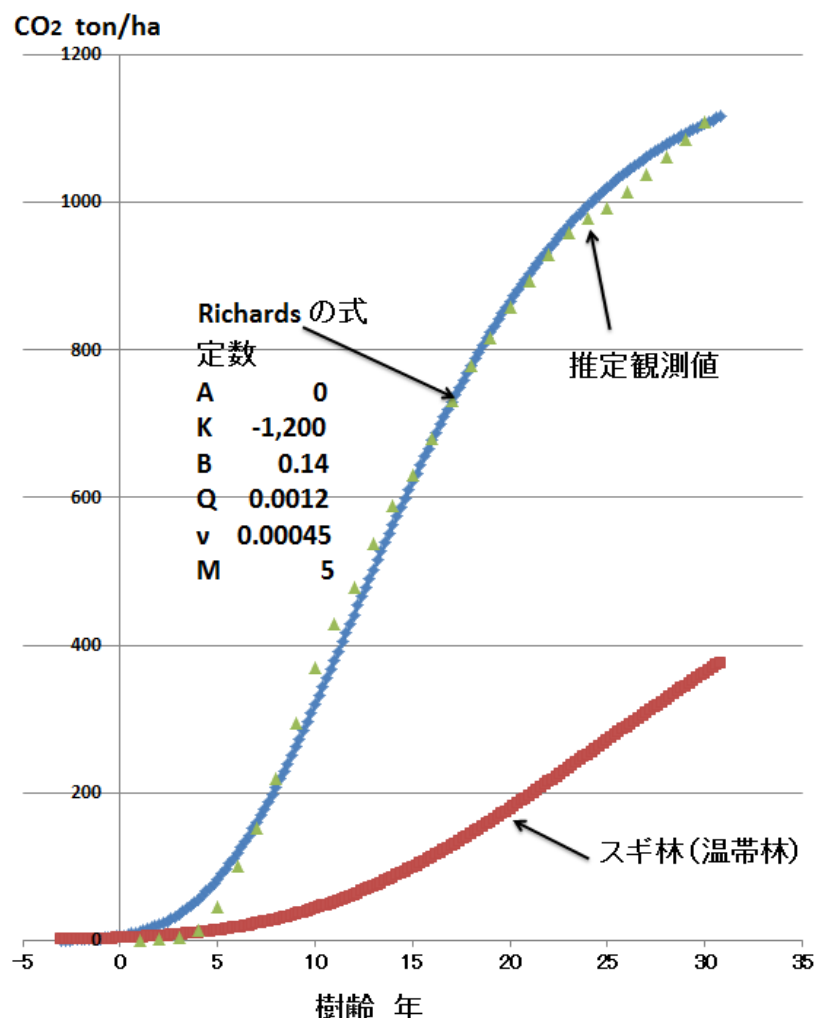


図-4 Richards の式による成長状態が最も合致を示したとき (熱帯雨林の場合)

この図からもわかるように、樹木の幼年期には若干のズレはあるものの、成長期から、成長が鈍る時期までの期間では、Richards の式による値と、推定観測値とが非常によい一致を示している。すなわち、Richards の式による成長速度が熱帯雨林の樹齢による炭酸ガスの吸収量を知る目安になることが分かる。

3. 熱帯雨林の森林伐採について

熱帯雨林について、その成長過程で炭酸ガスの吸収がどのようにされているのかを推定することが可能になった。そこで、では、実際に熱帯雨林を伐採するとどのようななるかを検討した。熱帯雨林の伐採は、先に述べたように、6年から7年の成長で実施されている言われているので、ここでは、平均して、7.5年で伐採、8年目から、新しい植林による成長が始まるとした。これを模式化して表現すると、図-5 のようになる。すなわち、伐採すると、最初の炭酸ガス吸収曲線はそこで断絶し、次の植林による炭酸ガスの吸収がまた幼年期の状態から始まることになる。したがって

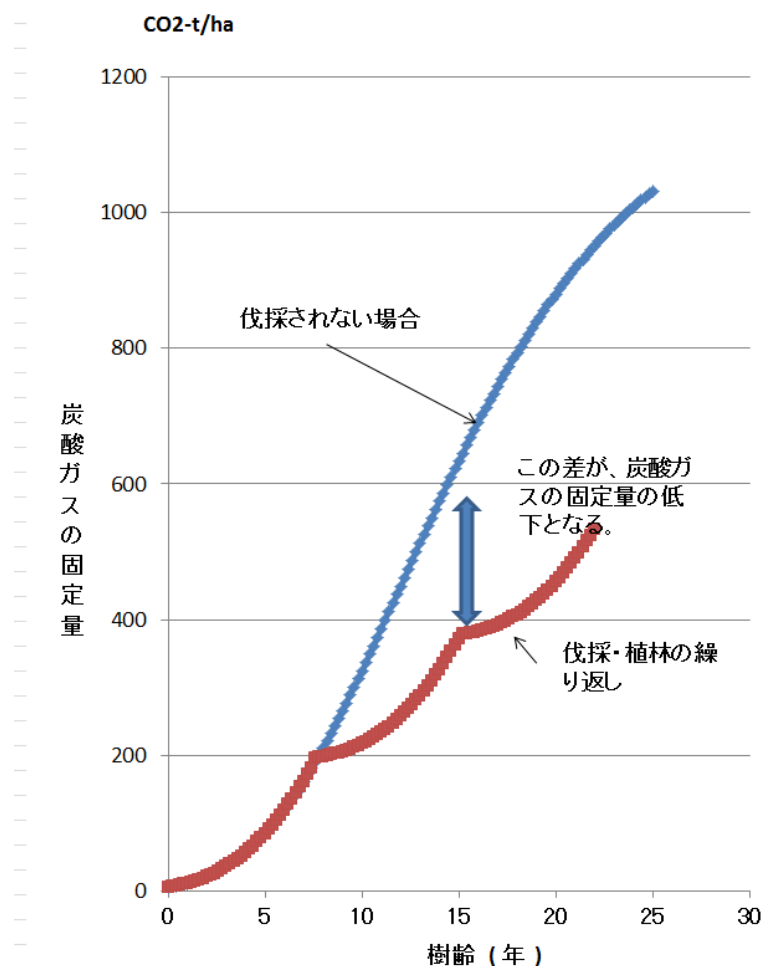


図-5 熱帯雨林の伐採における炭酸ガス固定量の低下

二度目に伐採が行なわれるときには、最初の成長曲線との間に明らかな差異が出てくる。これが、伐採による炭酸ガス吸収の減少となって、大気中の炭酸ガスの濃度が上昇することにつながる。つまり、森林の伐採は、熱帯雨林の場合、大気中の炭酸ガスの濃度を上昇させていることは、明らかなのである。したがって、伐採、植林をこのような形で繰り返している限り、大気中の炭酸ガス濃度は、上昇し続けている。熱帯雨林の伐採は、極めて大規模に、そして、ますます、東南アジアの発展途上国においては、経済的な寄りどころもなっており、これを停止することはできないが、しかし、こうした森林伐採の現実的な問題点を十分に認識して行なうべきであることを指摘したい。

3. まとめ

ここでは、地球規模で炭酸ガスの固定をし、大気中の炭酸ガス濃度の上昇を抑制していると考えられている熱帯雨林について、その生長の度合いを数式化することを試みた。こうして、熱帯雨林の成長の度合いを時間軸で把握することにより、森林伐採についても、現状で実施されている熱帯林の伐採が大気中の炭酸ガスの濃度を抑制する効果を阻害していることが、数量的に示すことが出来た。このことは、これまで、森林伐採については、カーボンニュートラルという考えから、全く問

題ないものとされていたが、こうした考えは、熱帯雨林の伐採の場合には、当てはまらず炭酸ガスの濃度の上昇につながっていることが判明した。しかしながら、図―5 の曲線からも分かるように、これを成長段階の後半（つまり、十分に成長した時点）での樹木の伐採であれば、森林資源の炭酸ガス吸収の能力が継続的に行なわれることがわかり、これにより、大気中の炭酸ガス濃度をより効果的に削減できることがわかる。この時点での植物の伐採ならば、まさしく、カーボンニュートラルの概念の通りである。従って、森林の伐採がどこの森林を対象にしているのか、あるいは、どのような植物を対象にしているのかを十分に考慮する必要がある。その点、バイオマス問題ではカーボンニュートラルとは言えても、即、これを森林伐採にも取り入れようとするのは、全くの短絡的思考以外の何者でもない。森林伐採問題については、熱帯雨林について議論するのか、それとも、温帯地の森林であるのか、あるいは、寒冷地の森林であるのかという地域的な問題、かつまた、樹木についても、その成長の速度が異なるのであるから、その伐採がいかなる樹木の成長のどの過程でなされているかを議論しなくてはならない。自然環境を守ることは、決して容易なことではないが、問題の本質を取り違えたり、あるいは、願い年月のかかる問題解決手段の探索を諦めてはいけない。地道な努力と、そして、科学的な根拠に基づいた議論をすることにより、間違いのない指導をお願いしたいものだ。

最後に、この問題を議論するに当たり、様々な方面の方々から、適切なご指導とご指摘を受けたことを感謝したい。とりわけ、東京大学の工学部の北垣准教授、工学院大学の田村教授のご助言には改めて深く感謝の意を表したい。

文 献

- 1) カーボンニュートラルについて 環境庁 www.env.go.jp/earth/ondanka/.../carbon.../ref03-5.pdf
- 2) 環境省・カーボン・ニュートラル等によるオフセット活性化検討会について
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon_offset/conf4.html
- 3) カーボン・オフセットとは http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon_offset/cn-cs.html
- 4) カーボン・ニュートラルとは、森林学習館 www.shinrin-ringyou.com/carbon/carbon_n.php
- 5) 地球の自然環境問題 <http://eco.macanow.com/air/index.html>
- 6) 発電量ナビ <http://www.hatsudenryou-navi.com/expression/carbon-neutral.html>
- 7) Keneth J. Feeley, S.Joseph Wright, M.N.Nur Supardi, Abd Rahman Kassim and Stuart J. Davies Decelerating growth in tropical forest trees; *Ecoogy Letters*, (2007) 10: 451-469
- 8) How to calculate the amount of CO2 sequestered in a tree per year
- 9) Nathan G. Phillips, Thomas N. Buckley and David T.Tissue: Capacity of Old Trees to Respond to Environmental Change, *Journal of Integrative Plant Biology* 2008, 50(11): 1355-1364
- 10) Pieter A. Zuidema The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species :Predicting timber yield
- 11) Robert Wieland and Dr. Donald E. Strecbel Valuing Timber and Carbon Sequestration in Maryland Using MD-Gord
- 12) Wiliam F. Laurance, Henrique E.M. Nascimento, Susan G.Laurance, Richard Condit, Sammya D'Angelo, Ana Andrade Inferred longevity of Amasonian rainforest trees based on a long -term demographic study *Forest Ecology and Management* 190 (2004) 131-143
- 13) Y. Malhi, D.D. Baldocchi & P.G. Jarvis Pland, *Cell and Environment* (1999) 22, 715-740
- 14) Simon L.Lewis, Tropical forests and the changing earth system; *Phnil. Trans. R. Soc. B* (2006) 361, 195-210
- 15) Christian Cossalter and Charlie Pye-Smith; 大田 精一、藤間 剛監訳「早生樹林業」
Center for International Forestry Research
- 16) 市町村森林整備計画 http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/con_5.html
- 17) [http:// www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/21hakusyo_h/all/h07.html#header](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/21hakusyo_h/all/h07.html#header)
- 18) Charlene Watson, “Forest Carbon Accounting: Overview & Principles”UNDP 2009
- 19) A.I.Hirsch ら, “The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amason; analysis using a process-based model”, *Global Change Biology* (2004) 10, p908～
- 20) Y. Malhi et.al. “The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests”, *Plant, Cell and Environment* (1999), 22, 715-740
- 21) 森林吸収源検討会 「森づくりに関する森林吸収源・生物多様性など評価基準」 平成 21 年 12 月
- 22) 日本製紙連合会 「マレーシア国サラワク州におけるパルプ用材植林地調査報告書」平成 20 年 3 月

- 23) 只木良也 「森の生態」(1971) (生態学への招待) 共立出版

参考資料

- 24) 鈴木誠二 森林伐採が及ぼす環境負荷についての一考察
<http://www.catv296.ne.jp/~kentaurus/forest%20felling.htm>
- 25) 鈴木誠二 「CO₂の排出量から見た環境に“優しい”製品とは」 工業材料 Vol. 45, 109(1997)
- 26) 鈴木誠二 果たして Carbon Neutral は? カーボンニュートラルを考える
http://www.catv296.ne.jp/~kentaurus/carbon%20neutral_3.htm
- 27) 鈴木誠二 森林伐採が及ぼす炭酸ガス固定バランスについて ―カーボンニュートラルの問題点
<http://www.catv296.ne.jp/~kentaurus/a%20forest%20CN.htm>
- 28) 鈴木誠二 森林伐採と環境問題
<http://www.catv296.ne.jp/~kentaurus/tree%20growth%20rate.pdf>
- 29) 鈴木誠二 森林伐採と環境問題 その2 Richards の式による樹木の成長速度
<http://www.catv296.ne.jp/~kentaurus/Richards%20equatn.pdf>

2018.05.11