

# 森林伐採と環境問題について

Environmental Load Evaluation of deforestation

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 I proposed the equation how to estimate the rate of the growth trees.

words; Deforestation, carbon neutral, carbon dioxide, growing rate,

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。日本では、林野庁の主導で、京都議定書の目標達成に向けた取り組みがなされており、オフセット・クレジットの導入などによる森林資源の保護、効率的な間伐とその有効利用などがそれなりの成果を上げている。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。従って、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。<sup>1),2),3),4)</sup>

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、これを建築資材として使用して、家を建設し、その廃材、あるいは、家を建て直して、古い材木を焼却処分しても、発生してくる炭酸ガスの量は、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。」と言うのがこの理論である。さらに加えて、「石炭化学や石油化学産業については、これらは化石燃料（石炭や原油の全体を意味している）を使用するものであり、これは、炭酸ガスのもととなる炭素が既に、この地球の中で固定化されたものであり、これを燃焼して炭酸ガスを発生し、排出すれば、これは大気中の炭酸ガス濃度を上昇させることになる。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の原因となっているのは、化石資源の利用であり、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、国連でも認められ、そして、それが、国際社会での炭酸ガス濃度上昇を議論するとき1つ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、自動車社会というのが生まれてきたのは、終戦後のことであり、それが、経済の発展とともに大成長をし、車の走行により発生する炭酸ガスの量は近年急速に増大している。また、文明化にともない、エネルギー消費も格段に増大し、そのエネルギーの確保のためにも、大量の炭酸ガスが発生している。これは、経済活動の発展には欠かせないものであり、従って、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。<sup>5),6)</sup>

一方、森林資源の場合には、炭酸ガスがどのように排出するかではなく、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、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ては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。<sup>7),8),9),10),11),12),13),14),15)</sup>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、個々の産業行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、<sup>16),17)</sup>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、樹木の成長スピードを求める試みをした。

## 1. 樹木の炭素固定能力について

育っている幼木の炭素固定量の変化を同時並行的に動力学的に検討するため、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 Watson<sup>18)</sup>や、Hirschらの報告<sup>19)</sup>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—1に示したような形で、年間の炭素の蓄積量( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )が数値化されている<sup>20)</sup>。

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<sup>21)</sup>、日本製紙連合会<sup>22)</sup>、あるいは只木<sup>23)</sup>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ことが確認されている。

表-1 炭素固定量から見た森林の成長速度<sup>18)</sup>

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

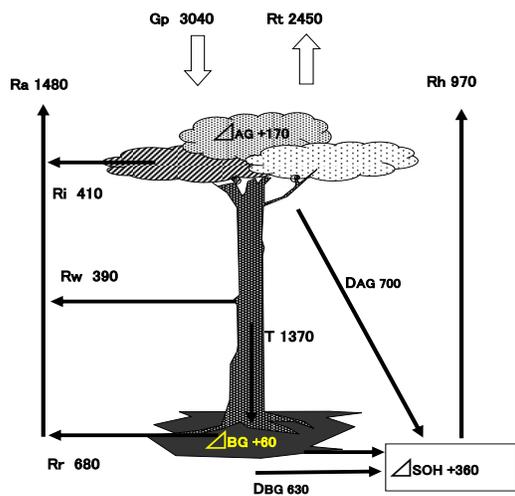


図-1 熱帯雨林における炭素の蓄積<sup>20)</sup>

## 2. 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



である。ただし、樹木の成長は、樹木が発芽してから暫くの間は、成長が非常にゆっくりであり、この期間は、成長の準備期間であると考えられ、成長期のスピードとは異なる。そこで、この期間は、 $C_f = C_i$  となり、次式により成長するものとした。

$$C_i = A * K * e^{k_0 * t * \frac{10}{T_i}} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

- A; 樹林に特有の定数
- K; 樹林地帯に特有の定数
- T<sub>i</sub>; 成長期までの年数
- k<sub>0</sub>; 幼年期の炭酸ガス固定速度定数

で表される。

## 2.2 杉林の場合

このような吸着反応を律速段階と考えた場合の式を基準にして、実際の森林の場合の成長について検討した。樹木の成長の程度を表すデータとして、樹木の成長にともなう具体的な炭酸ガス吸収量が考察された、天城地方の杉林での観測値を対象とした。

この報告では、一本の樹木についての炭素固定量を算出する方法として次のようなものを採用している。

$$\text{Total-C} = V \times K_b \times C_c$$

但し、

- Total-C : 1本の木が貯蔵している炭素の量[ton-炭素]
- V : 体積 x バイオマス係数 x 炭素含有率
- K<sub>b</sub> : バイオマス係数  
(幹体積を木全体の乾燥重量に換算する係数  
針葉樹=0.5970、広葉樹=0.8443)
- C<sub>c</sub> : 炭素含有率 (=0.5)

このようにして得られた値を表に示した。

計算に必要なそれぞれの定数は、森林の炭酸ガスの固定量が実測されたモンゴルのカラマツ林<sup>15)</sup>、ならびに、天城山のスギ<sup>21)</sup>のデータをもとに求めた。この結果を表—2に示す。

表—2 森林における炭素固定量の推移 天城地方スギ林

林令(年)	主材木 幹材質	副材木 幹材質	幹材質合計(m <sup>3</sup> )	炭酸ガス 換算 累積(t/ha/year)
10	18.8	0	18.8	26.44
15	74	5.4	79.4	111.68
20	137.8	18.9	156.7	220.4
25	195.8	22.4	218.2	306.91
30	244	23.1	267.1	375.69
35	287.3	20	307.3	432.23
40	328	19.4	347.4	488.63
45				
50	397.5	22.4	419.9	590.18
55				
60	450	19.2	469.2	659.95

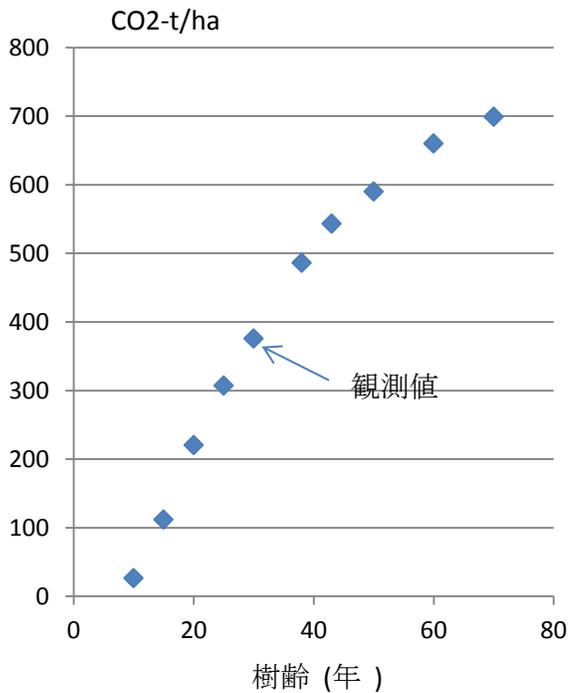


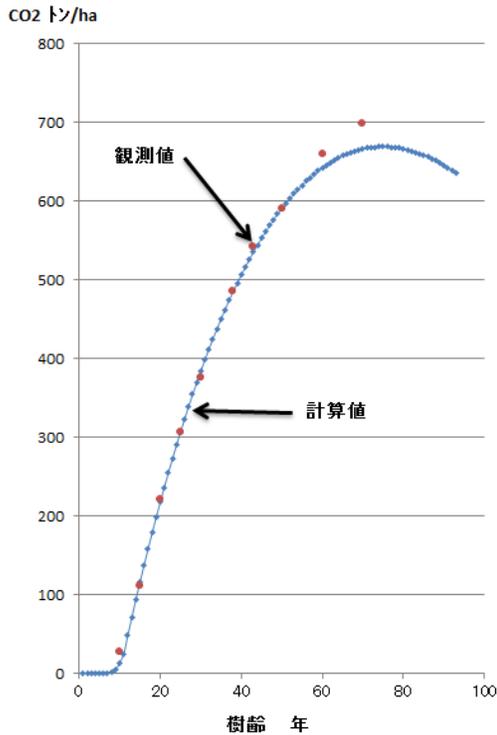
図-2 天城地方スギ林の炭素固定量の観測値

これを、樹木の炭酸ガスの吸収量として表現すると図-2 のようになる。そこで、この図に適合するような (2)、(3)、(4) 式で表現される各変数に伴う定数を、数学的手法である Runge-Kuta method により求める。

こうして求められた、各定数は次のようになった。また、この時の観測値と、数値による値を表したものが図-3 である。

表-3 求められた計算式の定数

定数			モンゴル カラマツ林	天城山 スギ林
A	樹林定数	CO <sub>2</sub> -t/ha	0.00006	0.00006
K	森林地定数		1	3
S	成長の限界	CO <sub>2</sub> -t/ha		2250
M	地帯定数			6
P	炭酸ガス固定阻害定数			8
T <sub>i</sub>	成長期までの年数	年	10	10
T <sub>l</sub>	樹木の見かけ寿命	年		120
k <sub>0</sub>	速度定数0		1.12	1.12
k <sub>1</sub>	速度定数1			0.2
k <sub>2</sub>	速度定数2			0.015



この値を観測値と比較すると、成熟した後の樹木が老齢期に入ると実測地との差が見られるものの、成長期の値は非常によく一致していることが分かる。

図—3 計算による天城スギ林の炭素固定量の推移

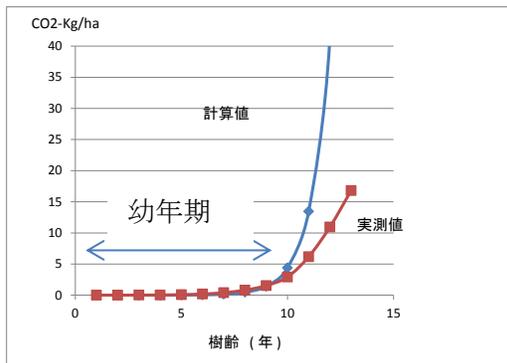
ただし、ここで、もう一度、幼年期の値について、この時期は、成長期とは異なる成長速度を示す。この間は、炭酸ガスの固定は非常にゆっくりしている期間で、根が張る期間でもある。この期間は、5～10年 と考える。この間の樹木の成長速度は、モンゴルでのカラマツのデータを参考にした。

財団法人 地球環境センター DCM/JI 事業調査結果データベース  
モンゴル森林再生計画支援事業調査 1999,2000

0年から  $T_i$  年までの炭酸ガスの固定量について、例年の累積とする。

$T_i$  成熟期開始年 とすれば、 $T_i$  年までが幼年期であり、樹木の成長は (5) で表される。これをモンゴルでのカラマツの成長に当てはめる。

その結果得られた値が、表—3 に示されている。また、計算値と実測地との比較を図—4 に示した。



図—4 モンゴル・カラマツでの幼年期の炭酸ガス固定量(累積)

### 3. まとめ

樹木の成長速度について、樹木の代表として、炭酸ガスの固定量の観測値に実績のある天城地方ス

ギ林をモデルとして選択し、この数式化を検討した。その結果、樹木の成長は、炭酸同化作用であることを念頭に、その成長速度が大気中の炭酸ガスの吸収によるものであると仮定し、その律速段階は、炭酸ガスの吸着反応であると考え、Langmuirの吸着式に従い、樹木の成長をあらわす炭酸ガスの固定量を求め、これが、老齢期に入ると誤差はあるものの、成長期においては観測値と非常によい一致をしていることが判明した。個々の樹木については、夫々の定数は異なるものと思われるが、樹木の成長を数式化することは、極めて重要な問題であり、今後、森林伐採を議論するうえで多に役立つものと思われる。

## 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](http://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](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon_offset/conf4.html)  
[https://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon\\_offset/conf4.html](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](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](http://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; *Ecology 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 *Plant, 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](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 「森づくりにおける森林吸収源・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敵地調査報告書」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