

# スリランカのユーカリ植林地における 炭素蓄積量増加のための森林管理手法の選択

2018年8月, 生物圏情報学分野, 47-166796, WERALA VIDANALAGE Tharindu Dilan  
指導教員: 講師 寺田 徹

キーワード: ユーカリ属、高標高域、地上部炭素蓄積量、樹種、伐期、炭素市場

## I. 背景と目的

天然林の保護に対する意識の高まりと、木材供給が可能な天然林のアクセスの悪さから、世界的に人工林の重要性が増している (FAO, 2001)。ユーカリ属 (*Eucalyptus*) は熱帯・亜熱帯地域で最も広く植林されている木本類で、スリランカでは幅広い標高で育成されている。とりわけ高標高域のユーカリ植林地は、国の林業・木材産業において重要な役割を担っている。一般に木材生産と自然保護との間にはトレードオフが存在しており、スリランカのユーカリ植林地も例外ではない。自然保護上重要な範囲は保護区に指定されるべきだが、それ以外の範囲も含んだ全面的な伐採規制は、林業・木材産業が国の基幹産業のひとつであるスリランカにおいては難しい。従ってスリランカでは、植林地における伐採活動およびそれに伴う林業・木材産業部門の収益を維持しつつ、環境面での配慮も行うことが重要となる。そのひとつの手段として、カーボンオフセットなどの市場メカニズムの活用を狙った森林吸収源対策の実施がある。森林吸収源対策のひとつに「森林経営 (Forest Management)」があるが、樹種および伐期の変更を行うことで、現行の管理手法より多くの炭素を森林に蓄積できる可能性があり、この増加分を取引に用いることができる。スリランカ高標高域のユーカリ植林地における主要な樹種は、*Eucalyptus Grandis* (EG) および *Eucalyptus Microcorys* (EM) の2種であるが (FAO, 1996)、EG は材積成長が早いいため、より多く植林されている (Kanagane and Kanowski, 2003)。一方、EM は EG に比べて成長が遅いが、木材密度が高いため優れた木材特性を示し、炭素蓄積量の点でも優位な可能性がある。成長の早い樹種から遅い樹種に変更し、さらに伐期を長くすることにより、土壌養分や土壌水分の消費が緩和されることが考えられ、環境面でも有意義である。以上より、本研究では以下の2つの目的を達成することを目指した。(1) 現在の伐期 (25年周期) での炭素蓄積量を2種で比較する。

(2) 伐期の長期化に伴う炭素蓄積量を推定する。これらの結果から、スリランカの高標高域におけるユーカリ植林地の今後の森林管理手法について議論する。

## II. 調査地と方法

本研究の調査地はスリランカ高標高域に位置する Nuwara-Eliya 地区である。地区内は同一の農業生態区分に指定されており、気候および土壌条件がほぼ均質である。そこでクロノシークエンシャル手法を採用し、同地区内にて管理手法が等しく樹齢の異なる EG 林分および EM 林分をそれぞれ3箇所ずつ選定することで、同一条件下における炭素蓄積量の経年変化を推定した。具体的には各林分に6つずつ、計36調査区を設置し立木のデータを取得した。調査区の形状は半径6.31メートルの円 (125 m<sup>2</sup>) とし、区内の低木層を除く立木全ての胸高直径 (DBH) および樹高を測定した。地上

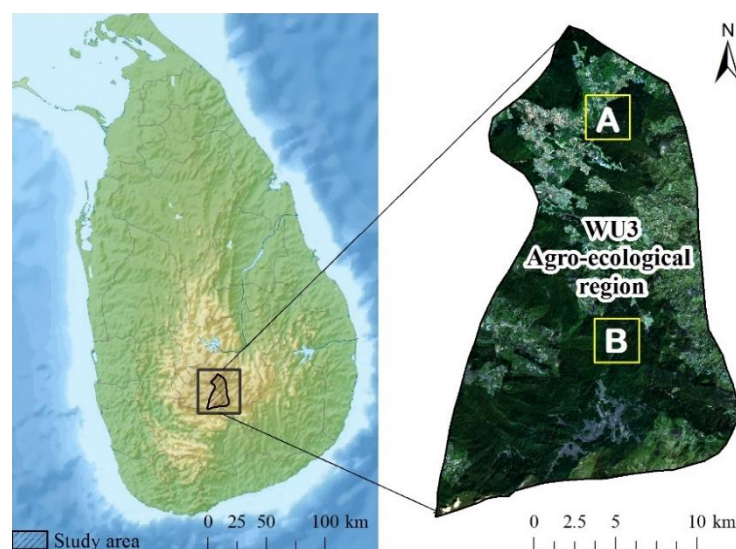


図1. 調査地: WU3 (AおよびBは調査区のある範囲を示す)

部炭素蓄積量 (AGC) は、種ごとの幹材積推定式および容積密度数 (FAO, 1996) を用いて推定した。伐期の延長に伴う地上部炭素蓄積量の増加は、実測データから樹齢と炭素蓄積量の回帰式

(対数)を得ることにより推定した。また、森林吸収源対策としての森林経営の効果を検証するため、EGを伐期25年で伐採している現状をベースラインとし、EMへの樹種変更および伐期の延長による炭素蓄積量の増加を評価した。さらに、その場合の経済的便益について、自発的カーボンオフセット市場における平均取引価格（\$8.4/t of CO<sub>2</sub>e）の値を用いて推定した。

### III. 結果と考察

クロノシークエンシャル手法にもとづく炭素蓄積量評価により、EGおよびEMともに、成長に伴って地上部炭素蓄積量が顕著に増加すると見なすことができ、その変化量は両種で異なっていた（表1）。樹齢と地上部炭素蓄積量の関係式はEGで $y = 217.04 \ln(x) - 553.68$  ( $R^2 = 0.98$ )、EMで $y = 56.47 \ln(x) - 327.51$  ( $R^2 = 0.96$ )となった。式を用いてベースラインである25年生のEGの炭素蓄積量を推定したところ、144.94 tC/haとなり、同じく25年生のEMの炭素蓄積量は176.15 tC/haと推定され、ベースライン比で21.5%（31.20 tC/ha）ほど高い値となった。

図2は伐期を延ばした際の2種の地上部炭素蓄積量の増加を示している。炭素蓄積量は樹齢とともに増加しているが、EGとEMの差は、5年延長した場合（樹齢30年）の13.9%から、10年延長した場合（樹齢35年）の7.4%に減少している。これは樹齢が増してもEGの成長が継続するためだと考えられる。高標高域のユーカリ植林地造林および管理に要する費用は約\$1066/haであり、伐期を1年延長するにあたり約\$8/haの追加費用がかかる。炭素排出権を取引した場合の便益を考慮すると、EGからEMへ樹種を転換した場合、2年以内（26年目）に費用をまかなうことができる可能性がある（\$1220/ha）。樹種の変更がない場合、EGの伐期を延ばすと（プロジェクトの取引コストと炭素価格の動向を考慮せずに）総費用を回収するまでには5年（30年目）が必要になる可能性がある。これらを合わせて、EMに樹種転換し、かつ5年間伐期を延長することで、ベースライン比で+41.2%（59.73 tC/ha）の地上部炭素蓄積量を増加させることができ、排出権の販売により、\$1838/haの便益を得ることができると推定された。得られた追加的な収益を土壌の改善のために用いれば、立地環境の改善にもつながるだろう。一方、現在の木材市場では、早く大量の材を供給することが求められており、樹種転換や5年間の伐期延長を実現するためには、木材市場の動向も踏まえた総合的な検討が必要である。

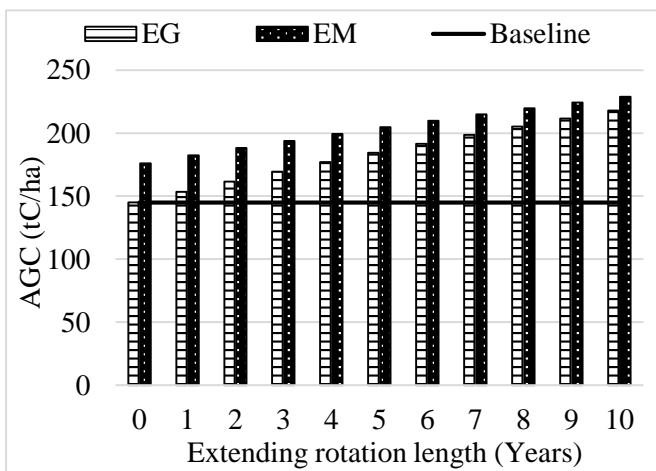


図2. 伐期を延長した場合の地上部炭素蓄積量

表1. 地上部炭素現存量（平均値±標準誤差）

Species	Age (Years)	Mean AGC
<i>E. grandis</i>	20	93.62 ± 56.56 <sup>a</sup>
	24	141.33 ± 55.52 <sup>ab</sup>
	30	182.15 ± 46.13 <sup>b</sup>
<i>E. microcorys</i>	17	108.50 ± 48.72 <sup>a</sup>
	19	142.32 ± 65.32 <sup>ab</sup>
	30	202.91 ± 51.67 <sup>b</sup>

数値の右肩の文字が異なる場合、有意水準5%で互いに異なることを示す（一元配置分散分析および最小有意差法による）

### 引用文献

- FAO (1996): Eucalyptus Plantations in Sri Lanka: Environmental, Social, Economic and Policy Issues, Reports Submitted to the Regional Expert Consultation on Eucalyptus - Volume II. AO Regional Office for Asia and the Pacific (RAP) Bangkok, Thailand.
- FAO (2001): World View of Plantation Grown Wood. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- IPCC (2003): Intergovernmental Panel on Climate Change, Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.
- Kangane, B. and Kanowski, P. (2003): Eucalypt Breeding in Sri Lanka: a Review of Progress and Future Breeding Strategies. Eucalypts in Asia, Proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 244pp.

# Forest management options to increase carbon sequestration in *Eucalyptus* plantations of Sri Lanka

Aug. 2018 Biosphere Information Science 47-166796, WERALA VIDANALAGE Tharindu Dilan  
Supervisor: Lecturer Toru Terada

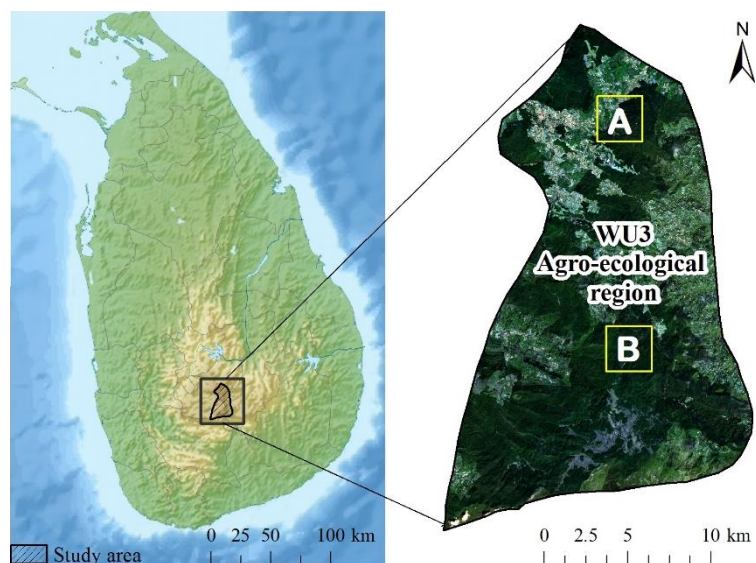
Keywords: *Eucalyptus*, higher elevation, above ground carbon, species, rotation length, carbon market

## I. Introduction

Globally, the importance of plantation forests is increasing due to the depletion pressure on natural forests and the difficulties in accessing increasingly remote areas of natural forest available for wood supply (FAO, 2001). *Eucalyptus* is the most widely cultivated plantation genus in the tropics and subtropics while *Eucalyptus* plantations of Sri Lanka have been cultivated a wide range of elevation. The higher elevation *Eucalyptus* plays a vital role in the local timber industry and they provide important ecosystem services from nationwide to the nearby community. However, currently, these plantations are under trade-off pressure between conservation and timber production due to mainly criticisms of higher resource consumption. Even though, full conservation of these plantations is not reliable while a significant extent may be included in protected zones. This action will result in the income and production dropping. Therefore, it is very important to find out alternative financial sources to compensate the trading loss of the conservation. Financial benefits from international carbon markets for carbon sequestration show an opportunity to trade recovery and future development of higher elevation *Eucalyptus*. Changing current management practices to increase carbon sequestration will ensure the financial gain from carbon offsets. Replacing of the main species and extending the rotation length are key practices to be changed. *E. grandis* (EG) and *E. microcorys* (EM) are major species in higher elevations (FAO, 1996) whereas, EG is the dominant due to its higher growth ability (Kanagane and Kanowski, 2003). However, EM recorded superior wood properties such as wood density over EG. Variation of growth rate and wood density are highly affected parameters for difference of carbon sequestration. Besides, slow growth species might consume less water and nutrients that is ecologically beneficial. Present rotation length of these species is 25 years: hence, this study aimed to fulfill three objectives: (1). to compare the carbon sequestration potential of the two species at present rotation length; (2). to estimate the effect of extending the rotation length to increase carbon sequestration and (3). Conducting a simple benefit by cost analysis to compare the financial viability of increased carbon sequestration. Studying of the effect of changing the silvicultural practices will support the future management of higher elevation *Eucalyptus* of Sri Lanka.

## II. Study area and methodology

The study area is the WU3 agro-ecological region of Sri Lanka that is a local zone with similar climatic and soil attributes (Figure 1). As a chronosequence approach, three EG monoculture and three EM monoculture plantations were selected while their ages are different. Six samples were located in each plantation, thus a total number of samples was 36. Sampling area was circular with a 6.31 m radius (125 m<sup>2</sup>). At the sample location, DBH and total tree height of all sampled trees were measured while shrub layer and coppices were excluded. Above Ground Carbon (AGC) were calculated using species-specific stem volume equations and species-specific wood densities (IPCC, 2003). AGC growth with age was used to develop logarithmic relationships between age and AGC for both species, which were used to predict AGC stock with extending rotation length. The predicted AGC stocks of EG at age present rotation length (25 years) is considered as the Baseline (BL). Market values of



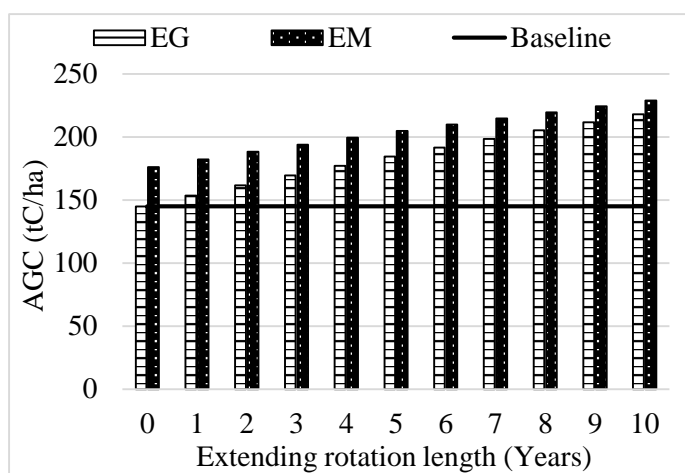
**Figure 1.** Study area: WU3 agro-ecological region (A and B show the sampling locations)

increased carbon sequestration were calculated based on average price for forest improvement in the voluntary carbon market (\$8.4/tonne of CO<sub>2</sub>e) to estimate the financial potential of increased carbon sequestration.

### III. Results and Discussion

AGC of both species has increased significantly through the chronosequence (Table 1). The BL stock is 144.94 tC/ha (tonnes of carbon per hectare). EM has produced 176.15 tC/ha of AGC at the present rotation length that is 21.5% (31.20 tC/ha) higher stock than BL.

Relationships between age and AGC are  $y = 156.47\ln(x) - 327.51$  ( $R^2=96$ ) and  $y = 217.04\ln(x) - 553.68$  ( $R^2=98$ ) for EM and EG respectively. AGC is increasing with the age (Figure 2), however, a difference of AGC production between EG and EM is declining. The difference is decreasing from 13.9% at 5 years prolonged rotation length to 7.4% at 10 years prolonged rotation length. The reason might be the stem volume growth of EG.



**Figure 2.** AGC growth with extending rotation length

\$1148/ha). Changing both practices can enhance +41.2% (59.73 tC/ha) AGC than BL with extending rotation by 5 years that potentially produces \$1838/ha valued carbon offsets. However, this analysis did not consider project transaction cost and the dynamics of the carbon price. Moreover, the gain from carbon offsets can be used for site development (i.e. soil) to maximize the production that will also assist to adjust the production drop. Conversely, exceptionally longer rotations may not be applicable because the primary objective of these plantations is a quick gain of timber. The optimum rotation should be decided according to the integrated analysis based on the gain from timber and carbon offsets. The results of this study concluded changing species from EG to EM and extending rotation length: combining both can increase carbon sequestration of higher elevation *Eucalyptus* plantations of Sri Lanka that can have a potential to gain viable financial benefits from carbon offsets for their future development. Future studies should focus on the total ecosystem carbon analysis in different climatic zones.

### References

- FAO (1996): *Eucalyptus Plantations in Sri Lanka: Environmental, Social, Economic and Policy Issues*, Reports Submitted to the Regional Expert Consultation on Eucalyptus - Volume II. AO Regional Office for Asia and the Pacific (RAP) Bangkok, Thailand.
- FAO (2001): *World View of Plantation Grown Wood*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- IPCC (2003): *Intergovernmental Panel on Climate Change, Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.
- Kangane, B. and Kanowski, P. (2003): *Eucalypt Breeding in Sri Lanka: a Review of Progress and Future Breeding Strategies*. *Eucalypts in Asia*, Proceedings of an international conference held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 244pp.

**Table 1.** AGC stocks of selected plantations (mean ± S.E.).

Species	Age (Years)	AGC (tC/ha)
<i>E. grandis</i>	20	93.62 ± 56.56 <sup>a</sup>
	24	141.33 ± 55.52 <sup>ab</sup>
	30	182.15 ± 46.13 <sup>b</sup>
<i>E. microcorys</i>	17	108.50 ± 48.72 <sup>a</sup>
	19	142.32 ± 65.32 <sup>ab</sup>
	30	202.91 ± 51.67 <sup>b</sup>

Different letters are significantly different at  $p < 0.05$  (One-way ANOVA and LSD tests). "ab" doesn't differ from the both "a" and "b".

The establishment and maintenance cost of *Eucalyptus* in higher elevations are approximately \$1066/ha and cost per year of extending rotation length is considered as approximately \$8/ha/year (Forest Department of Sri Lanka). Thus, if the main species are switched from EG to EM that could not recover the total cost (The gain of carbon offsets \$959/ha). Without species switching, if rotation length of EG is increased, possibly 5 years are required to recover the total cost (the gain of carbon offsets \$1220/ha). Therefore, integration of both practices: species switching and extending rotation can have a potential to recover the total cost within two years (the gain of carbon offsets