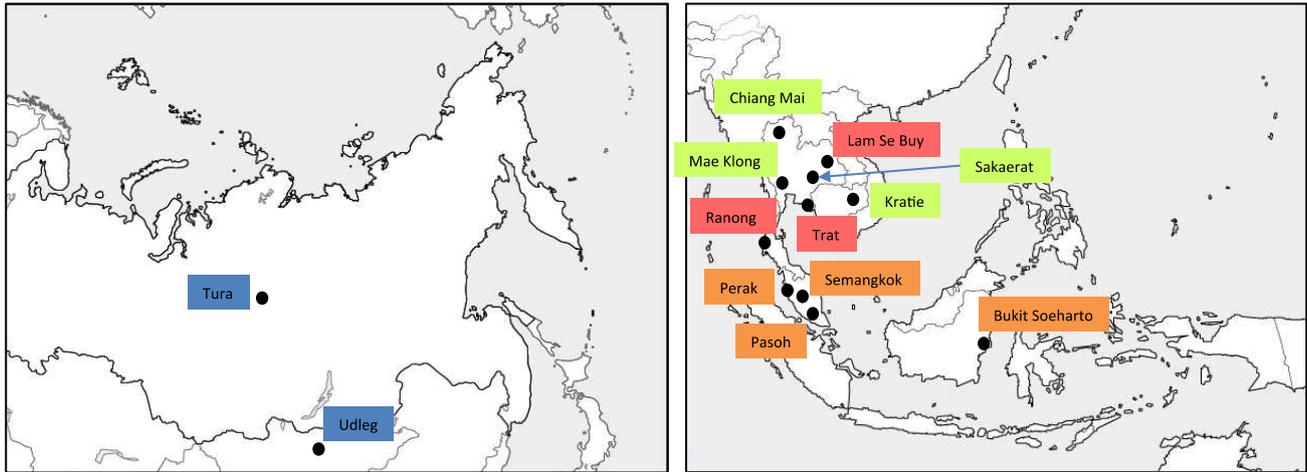


地球一括計上

課題名	東アジアにおける森林動態観測ネットワークを用いた森林炭素収支の長期変動観測		
担当研究機関	国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 国立研究開発法人国際農林水産業研究センター		
研究期間	平成26－29年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	64,228千円（うち29年度 13,222千円）
研究体制	<p>(1) 森林動態観測ネットワークによる森林炭素収支の長期モニタリング体制の構築（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所、国立研究開発法人国際農林水産業研究センター）</p> <p>(2) モニタリングデータを活用した炭素収支測定手法の高度化（国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所、国立研究開発法人国際農林水産業研究センター）</p>		
研究概要	<p>1. 序（研究背景等）</p> <p>陸域生態系の中でその資源量や環境へ与える影響の大きさなどから、森林への関心は増してきており、温暖化や生物多様性などに関連して、その重要性が指摘されている。これまでに森林生態系への広域的な環境、気候変動がもたらす影響評価には、複数の試験地による長期間のモニタリングが有効であることが示されている。つまり、単一の試験地のデータだけでは検出困難な変化についても、複数試験地間の比較をすることで、科学的根拠を持って温暖化影響とそのメカニズムを明示することが可能となる。</p> <p>森林に関する温暖化対策の中でREDDプラスとして知られている取組は、森林劣化および森林減少に伴う温室効果ガス排出量の削減および吸収量を増加させる努力に対して経済的なインセンティブを与えるというものであり、2020年からの運用を目指してその方法論が検討されている。排出量の多寡が経済的インセンティブに関係することから、森林炭素蓄積量の算定手法は第三者から見て透明かつ公正なものであることが求められている。REDDプラス実施で活用される国家レベルの森林炭素モニタリングにおいても、長期間にわたる継続観測から得られたデータは推定値のばらつきや精度を検証するのに有用な情報を与えてくれる。一方で長期モニタリングは、その実施に手間と費用がかかるのが実情である。一定の精度を確保しなければ、モニタリングの意義が失われるため、測定精度を維持するモニタリング体制の確立と、それを可能とする測定手法の高度化や人材育成を含めた能力開発が必要である。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究課題では、平成21年度～25年度に実施した地球環境保全試験研究費課題「温暖化適応策導出のための長期森林動態データを活用した東アジア森林生態系炭素収支観測ネットワークの構築」によって既に構築している森林総合研究所の東アジアの天然林を中心とした長期モニタリングサイトを基盤とし、新たに国際農林水産業研究センターの持つ熱帯林業に関連する調査地がネットワークに加わることによって、東アジアの多様な森林タイプを包含する森林動態観測ネットワークをより強固なものとする。このネットワーク化を通じた相互比較により、地下部を含めたバイオマスだけではなく、土壌や枯死木などを含めた生態系の炭素蓄積量（炭素プール）の変動の把握を精緻化することを目的とする。また、REDDプラス実施の上で重要となる炭素蓄積量推定に関して、労力と費用の効率化を図りながらも、推定精度を低減させない測定手法の開発を行う。平成29年度は、これまでに取得したデータをもとに、地下部を含めたバイオマスによる炭素蓄積量を試験地間で比較を行った。加えて、熱帯季節林において、通常、毎木調査の対象外となるタケや草本層の現存量を測定し、炭素プールに占める割合を求めた。また、東南アジアの熱帯林に特有な一斉開花現象の発生要因を明らかにするため、種子落下量の長期モニタリングデータと気象データの関係を解析した。</p>		



Copyright© T-worldatlas All rights Reserved.

図1 ネットワークを構成する試験地

3. 研究の内容・成果

(1) 森林動態観測ネットワークによる森林炭素収支の長期モニタリング体制の構築

① 樹木による炭素蓄積量の比較

各試験地での毎木調査のデータから地上部現存量および地下部現存量を求め、炭素蓄積量に換算した。基本的に高緯度から低緯度に移動するに従い、炭素蓄積量の増加が認められた（図2）。北方林である Tura では地下部を含めても炭素蓄積量は 20 Mg C/ha 以下であった。Tura よりも低緯度のモンゴルの Udleg 試験地では、60 Mg C/ha 程度であった。一方、熱帯降雨林（Pasoh および Semangkok）では 200 Mg C/ha を超える炭素蓄積量があり、極めて高い値を示した。Bukit Soeharto 試験地、Bukit

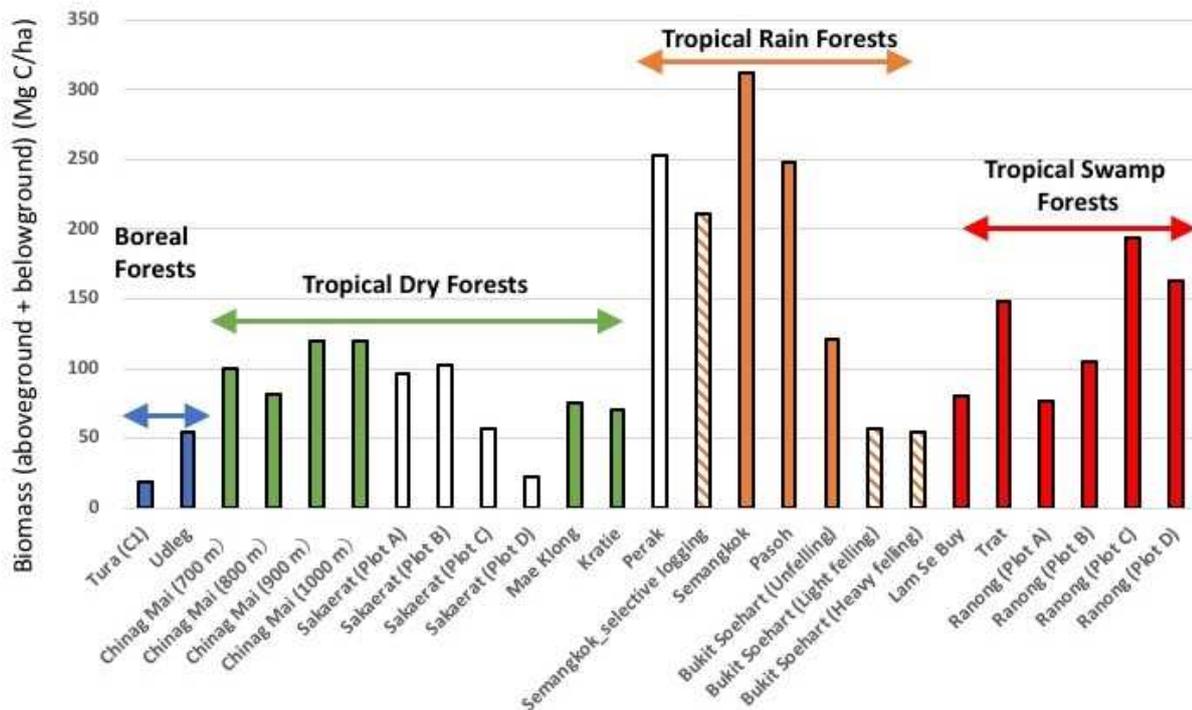


図2 各試験地の炭素蓄積量（地上部および地下部現存量の合計）の比較

白抜きデータの人工林を、網掛けのデータは択伐による攪乱履歴がある試験地をそれぞれ示す。Sakaerat 試験地の Plot A、B、C、D は植栽樹種の違いを示し、順に *Hopea odorata* 人工林 (plot A~C)、*Hopea odorata* に *Xylia xylocarpa* や *Hopea ferrea* が混交した人工林 (Plot D) を表す。Bukit Soeharto 試験地の UF、LF、HF は択伐および火災による攪乱強度の違いを示し、順に弱度、中規模、強度を表す。

Kinta 試験地および Semangkok 択伐林（図 2 中の網掛け棒グラフのデータ）は、いずれも択伐履歴のある林分であるが、それらの炭素蓄積量は択伐履歴のない天然林（Pasoh および Semangkok 試験地）に比べて低下していた。

大規模な撈乱の影響を受けていない Semangkok および Pasoh 試験地では、地上部現存量（AGB）は測定年ごとに変動するものの、その変動幅は極めて小さい（図 3）。Pasoh 試験地では測定開始から 2002 年までは減少していたが、その後は一転して増加する傾向となった。Mae Klong 試験地では、火災による撈乱をほぼ毎年受けているが、大規模な枯死の発生はなく、AGB に大きな変動は見られなかった。Bukit Soeharto 試験地では、AGB が中規模および強度の撈乱を受けた区画（LF 区および HF 区）と未弱度の撈乱を受けた区画（UF 区）との差が縮まることなく推移している。次に毎木データと落葉落枝量のデータをもとに純一次生産量（ANPP）の年々変動を解析した。今年度、解析対象としたのは、いずれも熱帯降雨林の試験地であるが、ANPP の値は約 8 Mg C/ha/年を示していた。試験地間 AGB の変動同様に Semangkok および Pasoh 試験地では、ANPP に大きな年々変動は見られなかった。択伐と火災による撈乱の影響を受けた Bukit Soeharto 試験地では、弱度の撈乱区（LF 区）でやや高い ANPP を示していたが、2014～2015 年のエルニーニョの影響による AGB の減少を受けて、2105 年時点では異なる撈乱強度の区画の間で差が認められなかった。

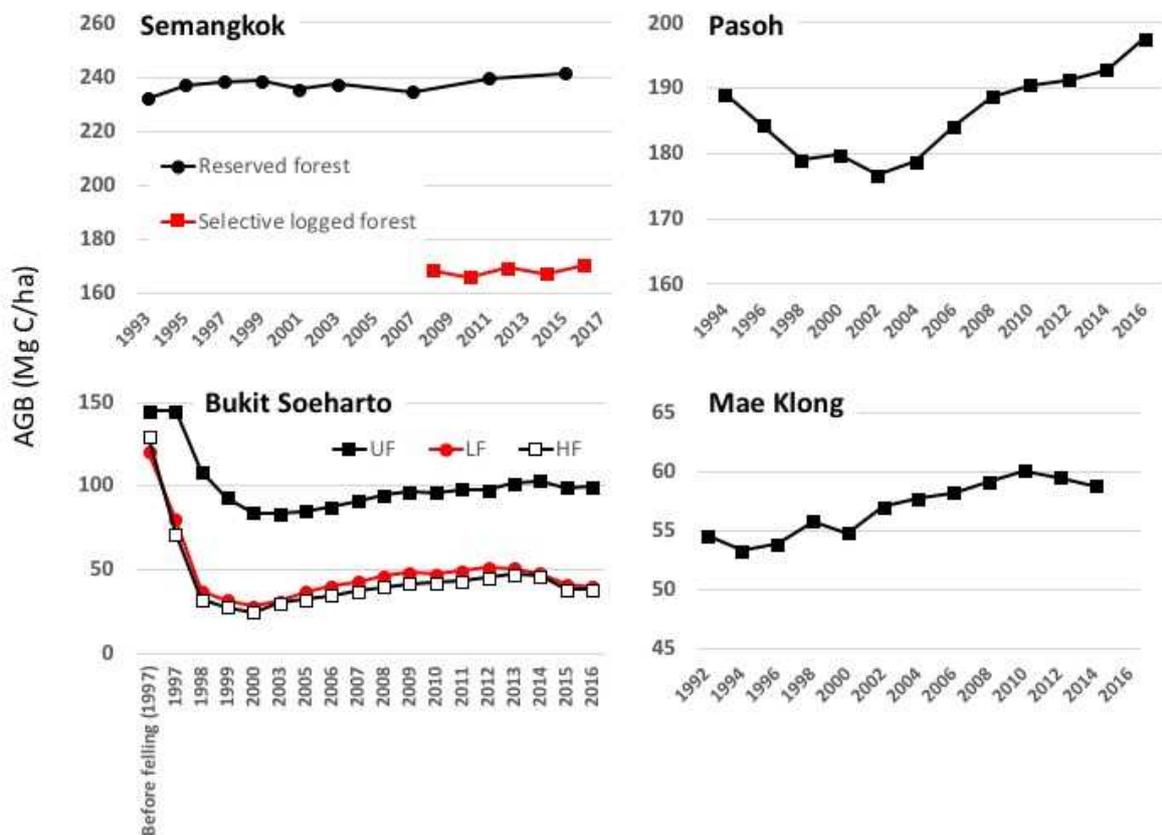


図 3 各試験地の地上部現存量（AGB）の年々変動

Bukit Soeharto 試験地の UF、LF、HF は択伐および火災による撈乱強度の違いを示し、順に弱度、中規模、強度を表す。

②熱帯季節林における樹木バイオマス以外の炭素蓄積

Mae Klong 試験地には 4 種の竹種が分布し、内 1 種は主に谷（沢）部に分布するが、残りの 3 種は斜面または尾根部に広く、同所的に分布していた。地上部現存量は調査を開始した 1992 年から一貫して増加し続けていた。Mae Klong 試験地におけるタケの現存量を測定した結果、地上部現存量の約 39% に相当する 23.3 Mg/ha となり、同試験地でタケの炭素蓄積量は相対的に大きな割合を示していた。

Kratie 試験地の林床植生の葉面積指数（LAI）は平均 3.4 (m^2/m^2) で矮性のタケが 8 割以上を占めて

いた。3年間のAGBの変動は測定年による有意差は認められなかった。また草本、矮性のタケ、木本の区分でも差が無かった。AGBは斜面上部では有意に草本が、下部は矮性のタケが多く、全ての生活系を含めたAGBも斜面下部が高かった。AGBと地下部現存量(BGB)を比べると斜面上部ではT/R比が3.8程度だが、下部では0.3と地下部の割合が高い。斜面上部では地表から10cmまでの深さに88%、下部では79%の根が分布していた。草本に比べ矮性のタケのほうが深い土層まで根が分布していた。

③森林動態に関与する一斉開花の発生状況

熱帯降雨林であるPasoh試験地の1992年からの落下種子データから、3～6年周期で計5回(1996年、2002年、2005年、2009年、2014年)の一斉開花が認められた。期日から90日間分遡った積算降水量を用いた指数(先行降雨指数API₉₀)によって土壌の乾燥ストレスを評価した結果、1月から3月の時期に14日間以上の連続した乾燥ストレスがあった年と一斉開花の発生年に一致が見られた。同時期の低温が続いた年と一斉開花の発生年には、必ずしも一致は見られなかった。

(2) モニタリングデータを活用した炭素収支測定手法の高度化

これまでの調査データから、倒木枯死量の多くは直径20cm未満の太さであり、本数割合で見ると全体の50～70%を占めていた。一方でこれら20cm未満の倒木枯死が重量全体に占める割合は5～17%程度であった。通常、倒木枯死(CWD)量の調査では、直径10cmを測定基準の下限に設定することが多いが、この下限値を引き上げた際に測定値に差が生じるかを検討した。タイプの異なる熱帯季節林および降雨林のデータで、直径20cm以上のCWD量と全量の間関係を見たところ、いずれの林分でも高い相関関係($r^2 = 0.98$ 以上)が認められた(図5)。また、異なる森林タイプのデータを統合した場合でも、直径20cm以上のCWD量と全量の間には、以下の関係式が求められた。

$$All\ CWD = 0.998 * CWD_{20cm} + 4.1599 \quad (r^2 = 0.9957; n = 178)$$

ここで、All CWDは測定基準が直径10cm以上のすべてのCWD量(Mg/ha)、CWD_{20cm}は測定基準が直径20cm以上のCWD量(Mg/ha)をそれぞれ表す。

この関係を利用して、直径20cm以上の重量から全量を推定した結果、全量の実測値との間に有意差は認められなかった。

4. 考察

(1) 森林動態観測ネットワークによる森林炭素収支の長期モニタリング体制の構築

①炭素蓄積量データの精緻化

Pasoh試験地での測定開始から2002年までのAGB現象の原因としては、1997/98年のエルニーニョによる乾燥ストレスによる枯死や成長量低下が考えられる。Bukit Soeharto試験地でのAGBおよびANPPの傾向を見ると、2014年以降、いずれの区画でも減少しており、これは主に2014年頭のエルニーニョによる乾燥を起因とする枯死が発生したためと考えられ、特にMacarangaなどの先駆性樹種の枯死が多くを占めていた。Pasoh試験地の年々変動からもわかるように、エルニーニョによるAGBの減少からの回復には数年かかることから、択伐強度の異なるBukit Soeharto試験地の各区画で、今後どのような推移を示すのか群集動態の面からもモニタリングする必要がある。

②熱帯季節林における樹木バイオマス以外の炭素蓄積

Mae Klong試験地では、過去に3種が別々の年に一斉開花しているが、その際の現存量の減少率は、全体的な現存量の増加傾向に比べると影響が小さいと見られた。また、森林全体の炭素プールの中で、タケの占める割合は増加してきていると考えられる。

Kratie試験地の胸高直径5cm以上の樹木のAGBは約80 Mg/ha、BGBは22 Mg/haと推定され、林床植生がAGBに占める割合は約10%であった。しかし、BGBは矮性のタケが優占する斜面下部のプロットでは35 Mg/haを超えるため樹木と同等以上の割合を占める可能性が高い。したがって、森林全体の総現存量に占める林床植生の割合は斜面下部では30-40%程度に達すると考えられた。

③森林動態に関与する一斉開花の発生状況

Pasoh試験地における土壌の乾燥と一斉開花の周期の関係を見ると、湿潤な年でリセットがかかり、次の強めの乾燥ストレスがかかった時に一斉開花が生じる傾向が見られた。このことから、湿潤な年を挟まないと、連続して乾燥ストレスがかかっても一斉開花は生じない可能性が示唆された。以上のことから、花芽形成に影響を与える時期(マレー半島西側の森林であれば1月から3月の時期)の降水量把握が重要であると考えられた。

(2) モニタリングデータを活用した炭素収支測定手法の高度化

これまでに3つの異なる森林タイプのCWD量について、労力が異なる二つの測定手法（プロット法とライン法）を用いて推定結果を比較・検討した。プロット法は、設定した枠内にある設定サイズ以上のCWDをすべて測定する方法である。一方、ライン法は、設定したライン上に掛かったCWDの直径を漏れ無く測定し、定形式によって材積を求める手法である。3つの異なる森林タイプ（熱帯季節林、熱帯降雨林、マングローブ林）の調査の結果と、これまでの検討結果を踏まえて以下の事項をまとめることができた。

- CWD量の測定基準を引き上げることで、省力化を図れる。
- ライン法は、短時間により多くのCWDデータを取得できる。
- ライン法では、測定ラインの設置場所によって推定結果のバラつきが大きくなることがある。
- CWDの供給源である地上部現存量が相対的に少ない森林タイプでは、精度維持の観点からもプロット法での測定をまず検討する（ただし、測定手法選択の基準となる地上部現存量の値は、今後の検討材料である）。
- 支持根が密生するようなマングローブ林では、林床の移動が容易ではないため、CWD量の測定にはライン法の適用が効率的であると考えられる。
- ライン法が対象としているCWDは、林床に接地している倒木や根返り木のみであることから、ライン法を用いたCWD測定をより正確にするためには、立枯れや幹折れ枯死木を対象とした調査を組合せる必要がある。

5. 波及効果

1990年代前半から実施してきた各試験地の地上部現存量の年々変動の継続観測の結果は、林野庁を代表する取組として、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会地球観測推進部会（第7回会合 平成28年10月18日開催）にて、紹介された。地球観測推進部会から総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）に対して重点的に取り組むべき事項として継続的な観測を柱として報告することが案としてまとめられたが、本課題の取組が参考資料となった。

研究成果の普及を目的とし、本課題専用のHP¹にて各試験地の毎木データを中心に一般公開を促進させた。データ公開は試験地ごとにまとめられており、利用者のためにデータの構造などの解説を加えている。この公開データを活用した国際共同研究の成果として論文が公表され始めている。

また、熱帯降雨林の一部の試験地のデータは、「データ統合・解析システム（DIAS）」に登録を進めており、オープンデータ化の推進と多様なステークホルダーによるデータ利活用の促進に貢献している。

これらデータ公開に関連して、インターネットソサエティ日本が主催したシンポジウム「国際学術ネットワークの日本における現状と今後」（平成29年12月12日開催）において、本課題のネットワーク試験地のデータをHPで公開する取組が農林水産省による「国際学術ネットワークを利用した農林水産研究の紹介」の代表的な事例として取り上げられた。

政策的な寄与としては、長期観測データを用いた気候変動影響評価とそれに基づく情報発信は、我が国のGEOSS、IPCC、IPBESなどへの貢献が考えられる。また、本課題の成果によって集積する気候変動影響評価の知見によって導出される適応策は、アジア太平洋適応情報プラットフォーム（AP-PLAT）の充実化に貢献することが期待される。

¹ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/EA-FDPN/datasets/datasets-index.html>