

# 半島タイにおける地形・土壌カテナに沿った土地生産力の評価

## Evaluating Potential Land Productivity in Relation with Catenary Sequence of Landform and Soils in Coastal Area, Peninsular Thailand

大久保 悟\* 武内和彦\*

Satoru OHKUBO Kazuhiko TAKEUCHI

摘要：半島タイにおいて、丘陵地下部から海岸までの地形・土壌カテナに沿って土地生産性を連続的に評価した。評価の対象を抽出するために地形・土壌図と土地利用の関係を把握した結果、ゴム林と、薪炭林として利用される *Melaleuca cajuputi* を評価対象とした。残丘から段丘高位面にかけてゴム林の生長量をもとに評価し、丘麓緩斜面で最も高いことがわかった。*M. cajuputi* によって厚さの異なる泥炭湿地と砂丘・浜堤の比較を行い、泥炭の厚い湿地で潜在的な生産力が高いことがわかった。地域全体における土地生産力の把握は、それぞれの地形・土壌タイプに生育適地を持つ植物で評価し、多次元的な土地生産力の評価を地域全体で統合するべきと考えた。

### 1. はじめに

Wittwer (1978)<sup>9)</sup> が、「生産性を重視した農業における技術開発から、経済的、社会的、生態学的に健全な農業技術の開発が将来の研究課題となる」と提言して以来、「最大生産」から「最適生産」の流れの中で、生物生産の場における持続可能性が、農学者や生態学者、経済学者、政府関係者の中で広く注目されてきた (Brown *et al.*, 1987<sup>1)</sup>)。持続可能性とは、生態学的に健全で、経済的に意味を持ち、社会的に適したシステムに存在し、時間的に保証されているもの (Otzen, 1993<sup>4)</sup>) と考えられるが、高温多湿な湿潤熱帯は、温帯などと比較して土壌侵食や土壌の理化学性変化が起りやすい環境であるため、生態学的な要因が最も生物生産を左右する。

とくに土壌環境は、持続的な生物生産を規定する要因と考えられる。本論文の対象地となる半島タイには、潜在硫酸酸性土壌を持つ泥炭湿地が広く分布する。そのため、比較的土壌条件の良い丘陵下部に土地の利用強度が集中しているのが現状である。地域資源の持続的利用を図るためには、集約的利用の分散と、地域全体での土地生産性の向上を考えた土地利用計画が必要と考えられる。

本研究では、丘陵地から丘麓緩斜面、海成低地部までを地形・土壌の連続体と捉え、地域全体の持続的な生物生産を考える。前回の論文では、地形・土壌による地域区分とその配列をみた (大久保・武内, 1997<sup>2)</sup>)。今回は、前回の地形・土壌の配列に沿って、現在の土地利用形態をもとに土地生産性を連続的に評価した。最後に、地域全体での土地生産性を評価する際の留意点を示し、総合評価のあり方を考察した。

### 2. 調査手法・分析

半島タイ東部のナラチワ県 Bacho 地域を調査対象とした (図-1)。この地域は花崗岩性丘陵地と風化堆積物、泥炭湿地を含む海成低地からなる。

#### (1) 地形・土壌と土地利用の結びつき

この地域における土地生産性を現状の土地利用形態をもとに把握するために、地形・土壌タイプ別に典型的な土地利用形態の抽出を試みた。分析の対象は、本研究対象地を含むナラチワ県北部 (北緯 6 度 25 分より北部) とした。地形・土壌図として、タイ国土調査部発行の 100,000 分の 1 土壌図を用いた (Soil Survey

Division, 1975<sup>5)</sup>)。この土壌図は、土壌図の凡例とともに、各土壌タイプが立地する地形的な特徴も示されている。この情報と、前回得られた Bacho 地域の地形・土壌区分をもとに、地形分類タイプとの結びつきを確認しながら、地形・土壌区分への再構成を行った。土地利用の読み取りには、タイ王国調査局発行 50,000 分の 1 地形図を用いた (Royal Thai Survey Department, 1986<sup>6)</sup>)。各地図を 15 秒単位 (約 450m) のグリッドに分割し、グリッド内に優占する土壌タイプ、土地利用を読みとった。2つの地図情報を重ね合わせ、Bacho 地域にみられた地形・土壌タイプにおいて、特徴的な生物生産的土地利用形態を抽出した。

#### (2) 土地生産力の評価

上記方法により抽出した土地利用形態により、それと結びつきの高い地形・土壌単位ごとに土地生産性の評価を行った。結果に示すように、丘麓緩斜面から段丘上位面にかけて広範に立地するゴム林、泥炭湿地から砂丘・浜堤にみられ、薪炭林として利用されている *Melaleuca cajuputi* の 2つを評価対象とした。

##### (i) ゴムの材積による残丘・丘麓緩斜面、段丘上位面の評価

ゴムのプランテーションは、この地域に最も優占する土地利用形態である。近年果樹園への転換が増え、徐々に面積が減少しつつあるが、依然この地域での主要な農産物である。ここではゴムの生長量をもとに、残丘・丘麓緩斜面から段丘上位面にかけての

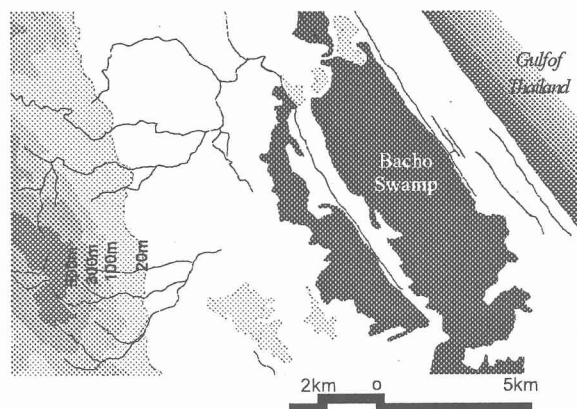


Fig.1 Location of study area

図-1 研究対象地の位置

\*東京大学大学院農学生命科学研究科

表-1 ナラチワ県北部における地形・土壌タイプと土地利用の関係

Tab.1 Relationship between geomorphological-soil types and land use in the southern part of Narathiwat.

Soil Classification	Geomorphological Type	Dence forests	Open forests	Plantation	Swamp forests	Rice fields	Grass lands	Villages	Total
Ground-Water podzol soils	Sand dune	0	8	48	35	21	0	25	137
Hydromorphic Alluvial soils	Former tidal flat	2	70	136	152	65	15	27	467
Hydromorphic Alluvial soils	River levee	1	0	12	2	41	0	0	56
Hydromorphic Alluvial soils	Offshore bar	18	37	81	90	140	2	28	396
Low-Humic Gley soils & Red-Yellow Podzolic soils	Flood plain	1	0	75	7	35	0	6	124
Hydromorphic Alluvial soils & Low-Humic Gley soils	Low terrace	26	32	511	25	318	0	63	975
Low-Humic Gley soils	Middle terrace	8	96	352	18	360	1	61	896
Red-Yellow Podzolic soils	High terrace	10	17	237	17	84	0	14	379
Gray Pozolic soils	High terrace	66	26	166	0	95	0	17	370
Red-Yellow Podzolic soils	Foot slopes	154	167	1196	25	157	0	24	1723
Reddish-Brown Lateritic soils	Foot slopes	0	1	55	8	8	0	3	75
Slope Complex	Hill top	587	490	337	3	40	0	20	1477
Peat and Muck soils	Back marsh	62	125	112	489	84	42	11	925
Total		935	1069	3318	871	1448	60	299	8000

土地生産力の評価を行った。

残丘頂部から段丘面まで、同時期に植林された10年生のゴム林を対象に、材積量の変化を連続的に把握した。残丘頂部から幅20mのトランセクトを設置し、10m毎にゴムの材積量の変化を比較した。ここでいう材積は、胸高断面積を底面とし、樹高を高さとした円錐体の体積とした。調査区内にみられるすべての個体で材積量を測定し、各調査区ごとの平均値を、10年間の累積生産量として考えた。また調査区内の地形計測と土壌断面調査により、地形・土壌断面図を作成した。得られた結果をもとに、10年間の累積生長量と、地形・土壌の関係を見た。

(ii) *Melaleuca cajuputi* による泥炭湿地・砂丘・浜堤の評価

この地域の泥炭湿地やその開発の失敗した土地、浜堤地上に分布する *M. cajuputi* は、薪炭や建材として地元住民にとって有効活用されている。一般に生産力の低い場所に広く分布するこの林は、これからの有効利用が期待される地域資源であるため、この樹種を土地生産性の評価対象とした。

この種は同種同齢の林分を構成する。こうした林分では自己間引き現象が起こり、自己間引きの起こっている林分における平均個体重  $b$  と単位面積当たりの個体数  $d$  には、次のような比例式が成り立つことが知られている。

$$b \propto d^{-2/3}$$

この式から、ある密度における最大材積量、つまり潜在生産量を推定できる。さらに、上記比例式を土壌条件の異なる林分で算出し、ある立木密度での潜在的な最大生産量の差を推定できる。

今回は、泥炭地から砂丘地へのシーケンスを考え、泥炭層の厚い湿地、薄い泥炭地(泥炭層1m未満)、砂丘・浜堤の3つの土壌条件を選抜し、*M. cajuputi* による生産力の変化を比較した。

調査は、上記3つの土壌条件の下、生育段階の異なる林分に10×10mの調査区を設定した。場所によっては均質な林分がこの範囲でとれなかったため、調査区の大きさを縮小したところもある。この場合、100㎡あたりの値に変換して後の分析に使用した。調査区を設定するとき、自己間引きの起こっている林分かどうかの判定は、樹冠が密閉しているかどうか、自己間引きにより枯死している個体が見られるかどうかで行った。調査区数は、浜堤・砂丘地、泥炭層の薄い湿地、泥炭層の厚い湿地において、それぞれ13、5、8調査区となった。

各調査区において、林冠を構成している全個体の胸高直径と樹高を計測した。本来個体重を測定する必要があるが、ここでは各調査区における一個体の平均材積量を個体重に置き換えた。材積の推定値は、胸高断面積を底面とする樹高の円錐体と仮定した。

各調査区ごとに、一個体あたりの平均材積量と、100mあたりの立木密度を求め、各土壌タイプごとに両対数の回帰分析を行った。得られた回帰式をもとに、それぞれの土壌で持ち得る潜在的な最大材積量を比較、*M. cajuputi* による土地生産力の変化を把握した。

### 3. 分析結果

#### (1) 地形・土壌と土地利用の結びつき

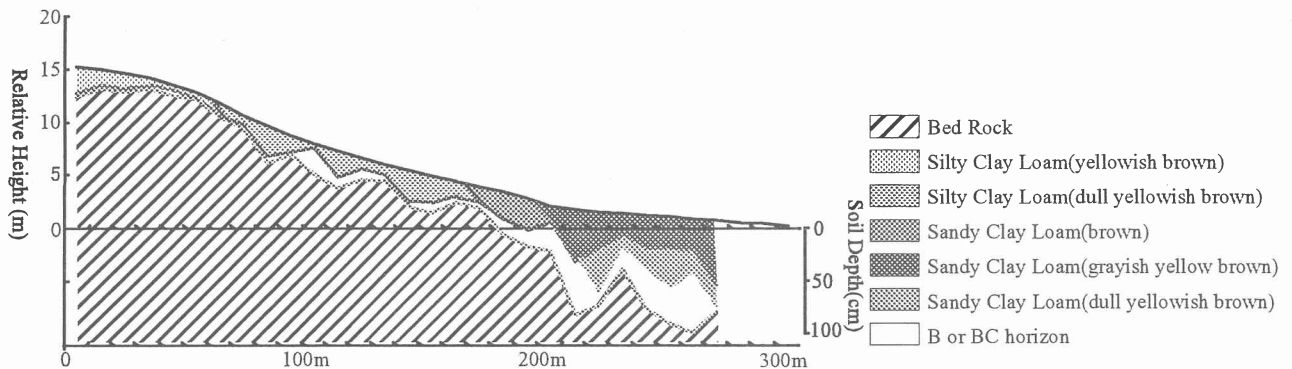


Fig.2 Geomorphological-Soil cross section on the rubber plantation.

図-2 丘陵頂部から段丘上位面に立地するゴム林における地形・土壌断面図

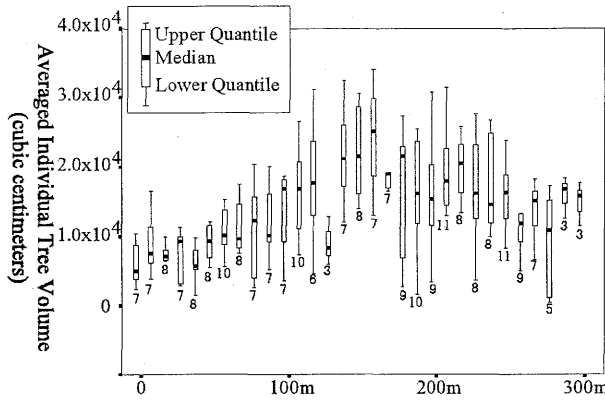


Fig.3 Variation of tree volume of rubbers along the cross section shown on Fig.2: the number shown under box plots presents the tree number observed.

図-3 地形・土壌断面図(図-2)に沿ったゴムの材積量変化ボックスの下に示した数字は観測された個体数を表す。

クロス集計の結果を表-1に示す。水域と生物生産に関係のない都市域、総グリッド数が5に満たない土壌タイプを削除した結果、8000グリッドが分析対象となった。用いた土壌図は、Soil Taxonomyの分類体系に基づき、32の土壌単位に分類されているが、Bacho地域で確認された地形・土壌区分をもとに、類似する土壌タイプを統合し、13の地形・土壌タイプが得られた。

カイ二乗検定の結果、土壌タイプと土地利用形態の間には極めて強い結びつきが確認された(df=78,  $\chi^2=6,479.05$ ,  $p<0.001$ )。次に、Bacho地域でみられた地形・土壌区分の配列に沿って、土地利用との結びつきをみた。

dense forestと林冠密度が60%以上80%未満のopen forestは、丘陵頂部から丘腹急斜面のSlope Complexと強い結びつきがあることがわかった。丘陵部から平地部にかけての丘陵緩斜面や段丘上位面の赤黄色ポドゾル性土壌(Red-Yellow Podzoic soils)には、ゴム林をはじめとするプランテーションとの結びつきが高かった。段丘中位面から下位面の低腐植地下水還元粘土性土壌(Low-Humic Gley soils)には、水田がつよく結びついていた。海成低地の泥炭湿地土(Peat and Muck soils)には、当然ながら湿地林がみられ、さらに草地との結びつきが確認された。この地域の湿地林はすでに開発されており、その多くは*M. cajuputi*である。この湿地林は砂丘・浜堤の水成ポドゾル性土壌とのむすびつきも高かった。実際この土壌にも*M. cajuputi*が分布しているが、砂丘・浜堤間低地にも泥炭土がみられ、今回用いた土壌図の精度が土地利用図より低かったため、砂丘間低地がグリッドとして反映されなかったことも原因と考えられる。

この地域では、地形・土壌と土地利用との結びつきが強いことがわかった。次にこの地域で優占するゴム林のプランテーションと、湿地林の*M. cajuputi*を用いて、それぞれと結びつきの強かった地形・土壌タイプにおける土地生産力の評価を行った。

## (2) 土地生産力の評価

### (i) ゴム林の生長量による評価

調査結果を図-2と図-3に示す。図-3は、四分位点を基準とした箱ひげ図により、各調査区の代表値およびばらつきを示している。残丘頂部から順に見ていくと、有効土層の薄い頂部では、10年間の蓄積材積量は小さい。丘陵緩斜面にかけて有効土層が厚くなり、材積量も増加を見せた。さらに斜面を下と、A層の土性がシルト質埴壤土 SiCLから砂質埴壤土 SCLへと変化した、砂質の割合が増加するに従い、再び材積量は減少を見せた。さらに斜面を下ると地下水水位面が相対的に高くなり、季節的な冠水の様子を示すグライ色を呈する還元斑がみられるようになった。そ

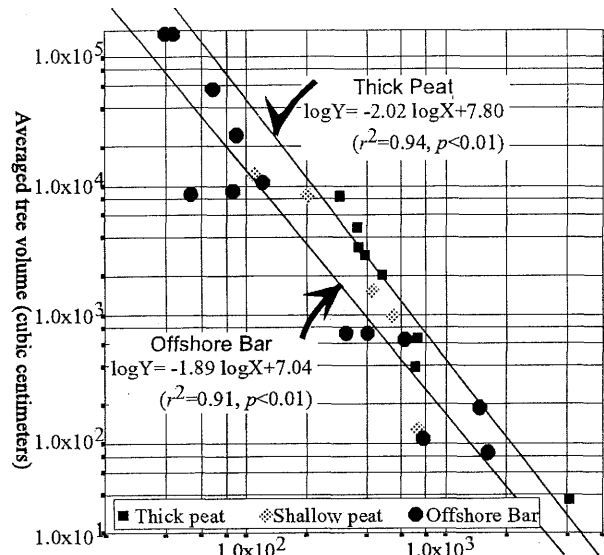


Fig.4 Potential growing of *M. cajuputi* on three soil types.

図-4 異なる土壌条件における*M. cajuputi*の潜在生長量

れに伴いゴムの材積も漸次的に減少することがわかった。

### (ii) *M. cajuputi*の潜在生長量による評価

回帰分析の結果を、図-4に示す。泥炭の厚い湿地と砂丘・浜堤地において、1%水準で有意な回帰式が得られた。泥炭の薄い湿地では、調査区の少なかったこともあり有意な回帰式は得られなかった。しかしその散布状況から見て、浜堤・砂丘地と泥炭の厚い湿地の中間に位置することがわかった。

方法に示したように、本来なら回帰式の傾きは-1.5でなければならぬ。今回得られた回帰式の傾きは-2前後と、予想値より小さくなったが、これは個体重ではなく材積を用いたこと、材積を円錐による推定値で代表させたことが考えられる。しかしここで注目すべきは、回帰式以上に、立木密度200本/100㎡付近にある平均個体の材積量の実測値が、3つの土壌条件下で異なることである。

この回帰式から、砂丘・浜堤地から泥炭の薄い湿地、泥炭の厚い湿地へと、ある立木密度における一個体あたりの材積量が増加することがわかった。つまり一個体がある一定の材積に達するのに要求する土地面積は、この順に狭くなることを意味し、この順に単位面積当たりの*M. cajuputi*の生育ポテンシャルが高いと解釈できる。

## 4. 考察

この地域の大部分を占めるゴム林と、地域資源としての有効利用が期待される*M. cajuputi*から、それぞれが立地している地形・土壌タイプごとに土地生産性の評価を行った。結果として、生産力の変化を地形・土壌の配列に沿って連続的に把握できた。

ゴムの場合、造林してから樹液を採取できるようになるまで7~10年かかると言われ、わずかな立地適正の違いが、将来の収益に大きく影響する。ゴムの生長に関わる要因は、残丘頂部の有効土層と段丘面の季節的な地下水上昇の2つがあると考えられた。つまりゴムのプランテーションの立地として適しているのは、丘陵緩斜面と示唆される。Syers *et al.* (1995)<sup>7)</sup>によると、ゴムの適地にシルト質埴壤土 SiCLが土性として最適とし、さらにしめった状態より排水の良い土壌がよいと示されている。また本調査地に近いタイ国ナコンシ・タマラート県で、立地の違いによるゴムの樹液の収量を比較したVan Ranst *et al.* (1996)<sup>8)</sup>も、同様の結果を示している。今回の調査結果は、既往研究の単なる

再現ではなく、生産力の変化を地形・土壌の配列に沿って連続的に把握できたことに意義がある。

この地域で農業利用を考えると、泥炭地の存在が大きな問題となっている。泥炭の厚い湿地の部分において、もっとも高い潜在的な生長量を *M. cajuputi* はみせたが、決して驚くべき結果ではない。この植物は本来泥炭土壌に適応した植物で、生理的適地がこの土壌環境にあると考えられる。*M. cajuputi* の生長には、通常の植物には毒性を持つというアルミニウムが不可欠であるという結果が報告されている(Osaki *et al.*, 1995<sup>3)</sup>)。そのため泥炭の厚さの影響と別に、泥炭の厚いところの下層にみられる海成粘土から供給されるアルミニウムを、この植物は巧みに利用していると示唆される。

今回はゴム林と *M. cajuputi* を対象に、それぞれが生育適地とする地形・土壌タイプの土地生産力評価を行った。地域全体での生産力評価を考えた場合、現時点では段丘上位面と砂丘・浜堤において生産性が低いと判断された。しかしこれが絶対的な評価ではないことに留意しなければならない。例えばゴム林によって泥炭湿地と砂丘・浜堤を評価した場合、おそらく泥炭湿地での生産力は低いと評価されるであろう。一般的に農業利用が困難と考えられる、潜在的に硫酸酸性化のおそれがある泥炭湿地において高い評価が得られたのは、こうした環境に適した植物を評価基準とした結果である。様々な土地環境タイプの複合体である地域スケールでは、土地生産力を一義的に評価できない。個々の土地環境に適した評価対象を用いることにより、地域全体の土地生産力を多面的に評価し、最終的に統合化する方法をとるべきである。

今回の評価手法は、現在の土地利用条件下で、それぞれの評価指標に対する土地生産力を相対的に示したものである。本研究の最終的な目的である持続的な土地生産力の確保を考えると、対象となる土地環境の本来持っている土地生産力の絶対的基準に従って、評価していく必要がある。絶対的な基準として、本来それ

ぞれの土地環境に立地し、それぞれを生育適地とする自然植生の生物生産力が考えられる。しかし人間の介入は、現在まで行われてきており、とくに今回の研究対象である湿润熱帯低地で見ると、自然状態の植生が残されている場所はわずかであるため、自然状態での生物生産力評価は困難である。現在の土地利用形態、とくに今回評価指標で用いたゴム林は、30年以上維持されてきた土地利用形態であり、それによる著しい土地荒廃は現時点で確認されておらず、現段階までは持続的な土地利用の一形態としてとらえることも可能である。しかしゴム林の面積は年々拡大しており、今後ゴム林に適さない場所で土地荒廃が起こる危険性がある。そのため現時点での相対的な土地生産力評価を基準に、定期的なモニタリングを行い、持続的な生物生産確保のための土地利用システム策定に反映していかなければならない。

## 5. 今後の課題

考察に示したように、評価の対象が変われば、土地生産力の評価は異なってくる。今回評価を行わなかった段丘中位面から下位面も含め、それぞれの地形・土壌タイプに特有な結びつきを示す植物を抽出し、土地生産力の再評価を行わなければならない。今後、これらを用いた評価を行った上で、地域全体での土地生産力の統合評価を行っていく予定である。

## 謝辞

タイ国森林局の Tanit Nuyim 氏、同国 Pikun Thong Royal Development Study Center 土壌部門部長 Apichart Jungskul 氏、Benjaporn Charkranon 氏、東京大学アジア生物資源環境研究センター小島克己氏に、厚く御礼を申し上げます。本研究は文部省科学研究費補助金創成的基礎研究費 No. 09NP0901 (研究代表者: 佐々木恵彦) による研究成果の一部である。

## 参考及び引用文献

- 1) Brown, B. J., Hanson, M. H., Liverman, D. M. and Merideth Jr., R. W. (1987): Global sustainability -towards definition: *Environmental Management* 11, 713-719.
- 2) 大久保悟・武内和彦 (1997): タイ南部ナラチワ県における地形・土壌からみた環境特性の水平的配列と土地利用分布: ランドスケープ研究 60(5), 507-510
- 3) Osaki, M., Sittibush, C. and Nuyim, T. (1995): Nutritional characteristics of plants growth in peat and acid sulfate soils distributed in Thailand and Malaysia: *In* Vijarnsorn, P., Suzuki, K., Kyuma, K., Wada, E., Nagano, T. and Takai, Y. eds, *A tropical swamp forest ecosystem and its greenhouse gas emission*, 63-76pp. Tokyo University of Agriculture, Tokyo.
- 4) Otzen, U. (1993): Reflections on the principles of sustainable agricultural development: *Environmental Conservation* 20, 310-316.
- 5) Royal Thai Survey Department (1986): 1:50,000 scale topographic map: Royal Thai Survey Department, Bangkok.
- 6) Soil Survey Division (1975): Detailed reconnaissance soil map of Narathiwat Province: *Province series* No. 4, Soil Survey Division, Bangkok.
- 7) Syers, J. K., Hamblin, A. and Pushparajah, E. (1995): Indicators and thresholds of the evaluation of sustainable land management: *Canadian Journal of Soil Science* 75, 423-428.
- 8) Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R. and Sinthurath, S. (1996): Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand: *Geoderma* 70, 1-20.
- 9) Wittwer, S. H. (1978): The next generation of agricultural research: *Science* 199(4327), 375.

**Summary** : Optimizing the land use system is needed for sustainable biological products in a regional scale. The objective of this study is to recognize potential land productivity in relation with catenary sequence of land form and soils in coastal area, Peninsular Thailand.

Rubber plantations and *Melaleuca cajuputi*, which is used by making charcoal, were chosen as the evaluation objects, in the result of the combination between land form - soils and land use maps. The results are as follows. 1) growing size of rubber trees for 10 years was the highest on foot slopes among the sequence from hill tops to foot slopes and high terrace. 2) Ecological carrying capacity of *M. cajuputi* was the highest in thick peats among peats with different peat depth and offshore bars.

In discussion, selecting the appropriate plants and/or land use types, and evaluating from various angles might be needed for potential land productivity evaluation in a regional scale, which is the complex of diverse land form - soil.