

氏名	アナン アフル エベネーザ ANNAN – AFFUL EBENEZER
学位の種類	博士 (農学)
学位記番号	甲第330号
学位授与年月日	平成16年 3月12日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Land Use Dynamics, Nutritional Characteristics of Plants, Bulk Density and Nutrients Distribution along Toposequences in Inland Valley Watersheds of Ashanti Region, Ghana (西アフリカ、ガーナ共和国アシャンテ地域の内陸小低地集水域の一連のトポシーケンスにおける土地利用動態、植生の栄養特性および土壌の理化学性の連関)
学位論文審査委員	(主査) 若月 利之 (副査) 藤山 英保 進藤 晴夫 山本 定博 増永 二之

## 学位論文の内容の要旨

Three years of surveys on land use dynamics was conducted along various topo-sequences in benchmark inland valley watersheds of Ashanti region, Ghana. Six typical land use systems were selected for more detailed study, i.e., Primary forest (PF), Cacao farm (CP), fallow, Mixed cropping (MC), and lowland rice based systems including both Traditional rice (TR) and sawah (paddy) based rice farming. Leaves and barks of various plants were sampled from these land uses for nutritional characterization using laboratory analyses. It was found that the primary and secondary forests remained are only a patchy area, less than 20%, in forest reserve and surrounding area. Cacao farms were developed both in the uplands, middle slopes and lowland, which occupied about 20% of the watershed. Lowland rice farming is estimated about 10% of the watershed. Oil palm is also common in the lowland. The remaining majority land-use were fallow and mixed cropping of maize, cocoyam, cassava and plantain.

Plant leaves of various species in the lowland traditional rice area showed higher phosphorus and potassium but lower calcium and strontium than those of leaves in the upland surveyed plots, especially, the forest area. Nitrogen, sulfur, magnesium and the other mineral elements, however, showed no clear difference among the six land uses. Bark samples showed the trend of lower concentrations of nitrogen, phosphorus, sulfur, magnesium, sodium, silicon, aluminum, iron, manganese, and copper but higher in calcium and strontium. Cacao leaves showed silicon accumulator characteristics and magnesium was high too. Cacao barks contain potassium and zinc in appreciable amounts in comparison to leaves.

The bulk density and nutrient distributions in soil profiles as affected by the various land uses were also studied. Mean bulk densities of the various soil profiles, 0-20, 20-40, and 40-60 cm in the selected five land uses along the upland/lowland topo-sequence were, 1.26, 1.73 and 1.44g/cc for primary forest (PF) on the upland, 1.13, 1.51, and 1.50g/cc for cacao farm (CP), 1.16, 1.63 and 1.26g/cc for mixed cropping site (MC), 1.39, 1.61 and 1.50g/cc for fallow plot (Fallow), all three land uses being on the upland/fringe and 1.46, 1.72, and 1.60 g/cc for lowland traditional rice plot (TR), respectively. The observation of very high bulk density of the second layers, especially at PF, may relate to the hardening of the iron/quartz stone layers due to prolonged dry condition, which may affect plant growth and hydrological cycles in the benchmark inland valley watersheds.

The topsoils TC were 4.3, 3.2, 2.4, 2.6, 1.8 and 1.5% for PF, CP, Fallow, MC, TR and Sawah respectively. The C/N ratios of the topsoils were 10,10, 9.8, 9.1, 8.8 and 8.8 for CP, fallow, MC, Sawah, TR and PF respectively, showing higher natural fertility, especially for N supply in PF in the uplands. The available phosphorus was low even for the topsoil, 1.8 to 3.4 mg kg<sup>-1</sup> for the upland soils while lowland TR and sawah recorded 4.4 and 4.9 mg kg<sup>-1</sup> respectively. The exchangeable K, 0.1-0.4 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, of the topsoil was in the range of normal inland valley soils in West Africa. In contrast to available P, although MC plot shows depletion, PF, Fallow and CP showed replenishment of available K through biological nutrient cycling. Exchangeable Ca and Mg as well as eCEC, were also relatively high in comparison with mean inland valley soils in West Africa. The major component of eCEC was Ex. Ca. Ex. Ca in the topsoils were 11.1, 9.1, 7.8, 4.7, 5.1 and 3.9 cmol(+) kg<sup>-1</sup> for PF, CP, Fallow, MC, TR and Sawah respectively. The distinctive feature of Ex. Mg was its ample distributions in the upper soil profiles in CP plot. This shows that cacao farms enriched exchangeable Mg, probably through Mg rich leaf litters. The topsoils in the six land uses showed clear toposequence effects, with the tree-based land use in the uplands having relatively higher soil fertility than the lowlands. The lowland soils, normally, should have been enriched in exchangeable bases such as Ca, K, and Mg, thus with higher eCEC and higher general fertility through the process of geological fertilization, i.e., nutrient flows from upland to lowland, as in the lowland sawah in monsoon Asia. In the benchmark sites, however, the effects by the geological fertilization process were not clear. This is one of the most important characteristics of West African inland valley watersheds.

The findings from this study have shown that, the land use and farming practices have a great influence on the soil fertility of the inland valley watersheds, hence appropriate farming practices like the Asian type of sawah should be adopted, to increase food production as well as conserve the environment.

## 論文審査の結果の要旨

1994年以來、自立的展開が可能な水田開発のための基礎および実証調査を継続しているガーナ共和国アシャンテ地域のベンチマーク内陸小低地集水域において、様々なトポシーケンス沿いに年間の土

土地利用動態の調査を3年間に渡り実施した。中でも特に6つの土地利用形態、すなわち一次林(PF)、カカオ園(CP)、休閑地(Fallow)、混作地(MC)、および伝統的な稲栽培(TR)と水田(sawah)による稲栽培を含む低地稲作地を詳細に調査した。各土地利用において生育している種々の植物の葉や樹皮を採取し、実験室において養分特性分析を行った。一次林と二次林は森林保護区やその周りにパッチ状に現存し、それらの面積は20%に満たなかった。カカオはアップランドと傾斜部や低地部において栽培されており、それは集水域の約20%の面積を占めていた。一方、低地における稲栽培は集水域内においては約10%と見積もられ、オイルパームも低地部において栽培されていた。ベンチマーク内陸小低地集水域におけるその他の主な土地利用は、休閑地、メイズ、ココヤム、キャッサバとプランテーション作物などが同時に栽培される混作地であった。

伝統的な稲栽培が行われている低地の植物の葉中の養分含有量は、アップランドの森林植物に比べリンとカリウム含量は高く、カルシウムとストロンチウム含量は低かった。窒素、マグネシウムと他の無機元素含量は6つの土地利用毎で明確な違いは認められなかった。樹皮サンプルでは窒素、リン、硫黄、マグネシウム、ナトリウム、ケイ素、アルミニウム、鉄、マンガンおよび銅含量が低く、一方カルシウムとストロンチウム含量が高い傾向を示した。カカオの葉中にはケイ素を集積する特性が示され、またマグネシウムや鉄、マンガンも多く摂取する傾向が示された。さらにカカオの樹皮はその葉中よりもカリウムと亜鉛を多く含んでいた。

種々の土地利用下にある土壌を調査し、その土壌断面の容積重と養分分布を調査した。アップランドと低地を含むトポシーケンス沿いの5つの土地利用における土壌深度0~20、20~40、および40~60cmの容積重は、アップランドの一次林(PF)で1.26、1.73、1.44 g/ccであり、アップランドのフリッジ上の3つの土地利用、つまりカカオ栽培地(CP)では1.13、1.51、1.50 g/cc、混作地(MC)では1.16、1.63、1.26 g/cc、休閑地(Fallow)では1.39、1.61、1.50 g/ccであった。低地の伝統的稲栽培地(TR)においては1.46、1.72、1.60 g/ccであった。野外での土壌断面調査時、特に一次林(PF)土壌で顕著に認められた土壌断面2層目(土壌深度20~40cm)における高い容積重は、乾燥状態によって助長された鉄と石英の固結化に起因すると考えられ、それはベンチマーク内陸小低地集水域の植物成長と水循環に影響を及ぼすものと考察された。

一次林(PF)、カカオ栽培地(CP)、休閑地(Fallow)、混作地(MC)、低地の伝統的稲栽培地(TR)と水田(sawah)におけるそれぞれの土壌表層の全窒素含量は、4.3、3.2、2.4、2.6、1.8および1.5%であった。カカオ栽培地、休閑地、混作地、水田(sawah)、低地の伝統的稲栽培地および一次林の土壌表層の炭素率(C/N比)は、順に10、10、9.8、9.1、8.8および8.8であった。これらにより特にアップランドの一次林(PF)では、窒素等の天然肥沃度が高いことが示された。アップランドの土壌表層においては、有効態リン酸が1.8から3.4mg kg<sup>-1</sup>と低かった。一方低地の伝統的稲栽培地(TR)と水田(sawah)においては、4.4と4.9mg kg<sup>-1</sup>と高かった。西アフリカの一般的な内陸小低地における土壌表層の交換性カリウム含量は、0.1~0.4cmol(+) kg<sup>-1</sup>程度であるので、一次林(PF)、休閑地(Fallow)、カカオ栽培地(CP)では、生物学的な養分循環を通じカリウムが供給されることにより、交換性カリウム含量が高くなるものと思われた。また有効陽イオン交換容量(eCEC)と同様に交換性カルシウムと交換性マグネシウム含量は、西アフリカ内陸小低地のそれらの平均値と比較して高い傾向を示した。この高いeCECは、主に交換性カルシウム含量が高いことに起因するものであった。一次林(PF)、カカオ栽培地(CP)、休閑地(Fallow)、混作地(MC)、低地の伝統的稲栽培地(TR)と水田(sawah)におけるそれぞれの土壌表層の交換性カルシウム含量は、順に11.1、9.1、7.8、4.7、5.1および3.9cmol(+) kg<sup>-1</sup>であった。カカオ栽培地(CP)の土壌表層においては、交換性マグネシウム含量が高く、他の土地利用と比較して特異的であった。このカカオ栽培地(CP)の土壌表層のマグネシウム含量が高い理由として、カカオ葉リッターを通じた養分循環の影響が挙げられた。6つの土地利用毎の

比較では、アップランドにおける森林をベースとする土地利用下にある土壌の表層が低地の土壌よりも肥沃度が高いという傾向を示し、これはトポシーケンスの影響を受けていることが明らかとなった。モンスーンアジアの低地稲作地帯の特徴として、地質学的施肥作用 (Geological Fertilization) つまりアップランドから低地部への物質と養分フローにより、低地土壌が交換性カルシウム、交換性カリウム、交換性マグネシウム含量が高く維持されてきたことや、さらに高い eCEC を保持してきたことが挙げられる。しかしながら、西アフリカベンチマーク集水域では、地質学的施肥作用の影響が明確に認められなかった。これらの傾向は西アフリカの内陸小低地の最も重要な特徴を示すものであり、今後の持続可能な水田開発において注意すべき点である。

以上、本論文では、西アフリカの内陸小低地において各種の土地利用形態が土壌肥沃度に影響を与え、またトポシーケンスに沿って土壌肥沃度が変化することを明示した。低地の伝統的稲栽培地や水田においてアップランドから低地への養分フローにより土壌肥沃土が比較的高く維持されるメカニズム、即ち地質学的施肥プロセスがあまり強くないことを示した。このことは、環境保全を行いながらかつ食糧増産が達成できる手段としての、アジア型の水田 (sawah) をベースとする農業システムを西アフリカに適用するに当たって新たに考慮すべき重要な点である。以上のように本論文は、食料と環境危機にある西アフリカの再生のために水田開発を中心的戦略とするアプローチをより持続可能にするための重要な基礎的知恵を与えたもので、学位論文として十分な価値を有するものと判定した。