

学 位 論 文 要 旨	
氏 名	A f a n d i
題 目	Soil Erosion and Soil Physical Properties under Coffee Tree with Various Management in Hilly Humid Tropical Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia (インドネシア南スマトラ・ランボンの熱帯湿潤丘陵地域における異なった管理を行うコーヒー園の土壌侵食と土壌の物理性)
<p>Lampung, which is located in the southern part of Sumatra Island, is one of the biggest coffee producing districts in Indonesia. Lampung has humid tropical climate, which is characterized by high rainfall concentrated in rainy season as well as high humidity and temperature throughout the year. Due to the above climate condition, the farming system has some classical problems, such as the high rate of organic matter decomposition, the high risk of soil erosion and sedimentation, and the high leaching of nutrient. The need for increasing production, has made the land pressure becomes high, and extensive cultivation has been applied. This condition can be found in the coffee areas, where “clean-weeded coffee” becomes the popular technology in coffee management. In addition to this, forest squatterring in the form of land use change from forest areas to coffee plantation becomes a serious problem during the last two decades. An evaluation must be made under the existing condition whether these conditions will effect on the soil environmental condition, especially related to soil erosion and soil environment.</p> <p>Based on above conditions, several research had been conducted at Sumber Jaya, West Lampung. Sumber Jaya is one of the coffee producing center of Lampung which is located in mountainous western part of Lampung with elevation around 600-900m asl. To see the global view of soil erosion, a measurement of sediment yield at field scale was done in various land uses from January until November 1999. A very simple sediment trap made from a PVC pipe with diameter of 10.9 cm was designed for measuring the sediment yield. The results showed that the mixed-coffee garden produced the highest sediment yield (719.7g/m²), and the lowest sediment yield was derived from secondary forest area (0.08g/m²). The sediment yield from clean weeded coffee system was around 93.4-279.7 g/ m², and multistrata system gave a low sediment yield (2.3 g/ m²). Although mixed-coffee garden gave a very high yield of sediment, natural vegetative strips entrapped 99.7% of the sediment. The vegetative filter zone that was covered with grass and short shrubs (3 m in length) could entrap 93.5% and 99.7% of sediment respectively, and the long shrub filter (12 m in length) could entrap only 52.5% of the sediment due to the concentrated flow in the longer slope. The surface cover</p>	

condition of the land use system and farming activities (weeding, tillage, fertilizer application) gave a high contribution on sediment yield than the other erosion factor.

During 1995 until 1999, a soil erosion study in plot scale was conducted at Sumber Jaya District. Geographically, it was located at 105°01' EL and 04° 34' SL, with the elevation of 780m above the sea level. The experiment was consisted of three plots with 15 ° gradient, 20 m slope length and 5 m width. The treatments were as follows: coffee without cover crop; coffee with *Paspalum conjugatum* sp. as cover crop, and coffee with natural weeds. Weed management was done every two week by clearing all the weeds in coffee plot, and cutting the weeds around the coffee trees with diameter 1 m for the weedy plots.

The results showed that the maximum daily rainfall and intensity based on 10 minutes observation were 82 mm/day and 120 mm/h, however, only 14.2% of rainfall intensities was greater than 25 mm/h (classified as erosive rainfall intensity). A relationship between erosivity index (R) and daily rainfall (X) was found as follows: $R = 1.624 (X - 10.9)$, where R: daily erosivity index ($m^2 \cdot t \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$) and X: daily rainfall (mm/day). The runoff ratio for clean-weeded coffee ranged from 7.0 to 15.9%, and decreased after the second year because of the coffee canopy growth. The presence of *Paspalum conjugatum* had reduced runoff until zero after the third year, whereas in natural weeds plot, runoff became zero after the fourth year. The highest soil loss was found in clean-weeded coffee which reached 22.7 t/ha in the second year of experiment. The use of cover crop could suppress soil loss until zero after the third year in *Paspalum* plot and after the fourth year in natural weeds plot. The average soil loss from clean-weeded coffee plot was 1.17 mm per year which was below the soil formation rate in Indonesia.

A better soil physical condition was achieved when the soil surface under the coffee trees was covered with *Paspalum conjugatum*. The average soil organic-C in the soil profile of *Paspalum* and natural weeds plots were 32g/kg and 27g/kg respectively, which were higher than in clean-weeded plot which had 20g/kg of organic carbon. A smooth horizon boundary was found in *Paspalum* plot due to the abundance of its roots which was also enhancing soil color more black, and the process of wetting and drying. A strong aggregate stability was found at the *Paspalum* plot as indicated by penetrometer readings as well as water stable aggregate index. Two centimeters thickness of hardpan which was developed at *Paspalum* plot made the water movement from upper layer inhibited during the dry season. The highest porosity was found at *Paspalum* plot ($0.64 m^3 m^{-3}$) followed by natural weeds plot ($0.62 m^3 m^{-3}$) and clean-weeded plot ($0.60 m^3 m^{-3}$). However, the average available water content was not different between *Paspalum* plot and natural weeds plot, and only $0.15 m^3 m^{-3}$ higher than that of clean-weeded plot. The permeabilities varied among the treatments, and this

variance was biggest in the upper layer of *Paspalum* plot.

After 4 years, it was found that the soil surface layer had become thicker and darker than before. Almost all the soil chemical properties in soil surface layer increased, particularly soil pH, organic carbon content, total nitrogen, available P, exchangeable bases, and base saturation. On the other hand, exchangeable Al and Al saturation of soil surface layer decreased. Although several soil characteristics changed during the study period, it was evident that 4 years treatment was too short to change soil taxonomy of the three pedons in sub-group category. In the sub-group category, all pedons were still classified as *Vertic Dystrudepts*. Covering soil surface by natural weeds was able to increase exchangeable bases and base saturation in the sub- surface layer, therefore it could change soil taxonomy from *Vertic Dystrudepts* to *Eutrudepts* in the great soil group category over a long period of time.

A soil erosion model, USLE, was also evaluated for deriving coffee crop factor (C-factor). Two methods of estimating C-factor for coffee were used :(1) using similar condition with other crops (Ct), and (2) using equivalent method based on the existing value of coffee-C factor (Ce). The results showed that the use of Ct gave soil loss prediction 6.7-17.0 times higher than that measured, while the use of Ce gave 7.5-58.8 times higher. The predicted values of soil loss using Ct were 5.9 t/ha/year and 10.2 t/ha/year for *Paspalum* and natural weeds plots respectively. These values were still acceptable and reasonable to the soil loss tolerance, and very low compared to the other Indonesian studies which could be hundreds of ton/ha/y. This experiment showed that the measured coffee C-factor was 0.062 for clean-weeded plot, 0.008 for *Paspalum* plot and 0.0053 for natural weeds plot, which were lower than the common value (0.2) usually used in Indonesia. By introducing the effect of weeds as the weeds C-subfactor (Cs) and coffee C-factor (Cb) obtained from this experiment measurement, the coffee C-factor (Cc) with various weeds coverage could be estimated by the equation $Cc=Cb \cdot Cs$

学位論文要旨	
氏名	A f a n d i
題目	Soil Erosion and Soil Physical Properties under Coffee Tree with Various Management in Hilly Humid Tropical Area of Lampung, South Sumatra, Indonesia (インドネシア南スマトラ・ランボンの熱帯湿潤丘陵地域における異なった管理を行うコーヒー園の土壌侵食と土壌の物理性)
<p>ランボンはスマトラ島南端に位置し、インドネシアでも大きなコーヒー産地の一つである。熱帯湿潤気候にあり、一年を通して高温多湿で雨季に降雨が集中している。このような気象条件から、この地域の農業は、土壌有機物の分解速度が速いこと、土壌侵食や流出土粒子による被害が大きいこと、土壌栄養分の溶脱が高いなどの多くの問題を抱えている。さらに、生産量増加の必要性から、農地にかかる負担が高まり、集約的農業が適用されるようになった。このような現象はコーヒー園でも見られ、コーヒー樹の下草を完全に除草する技術がコーヒー園の管理に普及している。さらに、この二十年間に森林がコーヒー園に変化し、森林の荒廃が重要な問題となってきた。このような土地利用の変化が土壌侵食や土壌環境にどのような影響を与えるのかを推定する必要がある。</p> <p>このような背景から、西ランボンのサンバルジャヤで幾つかの実験を実施した。サンバルジャヤはランボンのコーヒー生産の中心地であり、標高 600~900mのランボン西部の山岳地帯にある。土壌侵食の地球規模的観点から、1999年の1月から11月まで各種の土地利用からの土壌侵食量を圃場スケールで測定した。土壌侵食量を計測するために、管径 10.9cm の PVC パイプを用いた簡単な装置を考案した。実験結果より混作コーヒー園からの土壌侵食量が最も大きく(719.7g/m²)、二次林からの侵食量が最も小さい(0.08g/cm²)、完全除草したコーヒー園からの土壌侵食量は93.4-279.7g/cm²であるが、多階層型コーヒー園では侵食量が最も少ない(2.3g/m²)。混作型コーヒー園からの土壌侵食量が最も大きい、その下流に自然発生した草生帯が侵食土砂の99.7%を捕捉している。草地や斜面長(3m)の短い灌木帯の植生フィルター帯はそれぞれ93.5%、99.7%の侵食土壌を捕捉したが、斜面長(12m)が長い灌木フィルター帯ではその斜面内で流れが集中するため侵食土砂の52.5%しか捕捉できなかった。各土地利用システムにおいて地表の植生被覆条件と農家の営農活動(除草、耕起、施肥)が他の要因よりも土壌侵食を増大させる原因となっていた。</p> <p>1995年から1999年にかけて、東経105°1′、南緯4°34′、海拔780mのサンバルジャヤ地区でプロット規模の土壌侵食実験を行った。幅5m、長さ20m、斜面勾配15度の斜面を持つ3個の試験区を設定した。試験区の構成は以下の通りである。地表面の雑草を完全に除草したコーヒー試験区、この地域で被覆植物としてよく用いられるパスパルムと呼ばれる雑草を用いて地表面を被覆したコーヒー試験区、自然植生の雑草で地表面を被覆したコーヒー試験区である。雑草</p>	

の管理は2週間に1回の頻度で行い、完全除草区では全ての雑草を除去し、雑草区ではコーヒー樹の周り半径1m範囲の雑草を除去した。

観測期間中の最大日雨量は82mm、最大10分降雨強度は120mm/hで、降雨の14.2%のみが土壤侵食の限界降雨強度とされている25mm/hより上回っていた。USLE式中の降雨指数(R)と日雨量(X)の間には $R=1.624(X-10.9)$ (R:日単位の降雨指数 $m^2 \cdot t \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ 、X:日雨量mm/day)である。完全除草区の流出率は7.0~15.9%であったが、コーヒー樹冠の発達によって2年目以降の流出率が減少した。パスパルムで地表面を被覆することによって流出を抑制し3年目以降では流出率が0%まで減少し、自然雑草によって被覆した試験区では4年目以降で流出率が0%まで減少した。実験2年目の完全除草区で土壤侵食量が最も大きくなり22.7t/haに達した。被覆植物を導入すると侵食量が著しく減少し、パスパルム区は3年目以降、自然雑草区では4年目以降に土壤侵食量がゼロとなった。完全除草区の平均土壤侵食量は土壤の厚さに換算すると1.17mm/年となり、この値はインドネシアの土壤生成速度を下回っていた。

パスパルムで地表面を被覆した試験区の土壤の物理性が最も良好な状態が達成された。パスパルム区と自然雑草区の有機物炭素量の平均値はそれぞれ32g/kgと27g/kgで、完全除草区の20g/kgより大きな値を示した。パスパルム区では土壤を黒色化する根群が発達していることや土壤の乾湿を繰り返すことによって、表層土壤の層位の境界が明確になっていた。さらに、パスパルム区の土壤は団粒化指数が大きいだけでなく、ペネトロメータの測定値から団粒の安定性が大きいことが示された。また、パスパルム区では土壤の表層に厚さ2cmの硬い層が発生し、乾期に表層からの水分移動を妨げていた。間隙率が最も大きかったのはパスパルム区(0.64m³m⁻³)で、引き続き自然雑草区(0.62m³m⁻³)、完全除草区(0.60m³m⁻³)の順であった。しかしながら、有効水分量の平均値はパスパルム区と自然雑草区では大きな違いはなく、完全除草区より0.015m³m⁻³程度の大きな値を示した。土壤の透水性は試験区ごとに大きく変化し、パスパルム区表層の透水係数の変動が大きくなっていた。

実験開始後4年経過すると、各試験区とも表層土壤が厚くなり土色もより濃くなっていた。表層土壤の化学性のうち特にpH、有機物炭素量、全窒素量、有効態燐、交換性塩基、塩基飽和度が増大した。一方、表層土壤の交換性アルミニウムとアルミニウム飽和度は減少していた。4年間の実験期間中に幾つかの土壤化学性が変化しているが、Soil Taxonomy分類で3試験区の土壤の亜群が変化するには至っていなかった。亜群の分類では、全ての試験区が*Vertic Dystrudepts*として分類されたが、自然発生した雑草で土壤表面を長期間被覆すれば、下層の土壤の交換性塩基と塩基飽和度が増大し、Soil Taxonomy分類の大群で*Vertic Dystrudepts*から*Eutrudepts*に変化する可能性を示した。

土壤侵食量の予測式であるUSLE式を適用して、各試験区の作物管理係数C値を評価した。C値を推定する方法として次の2つの方法を用いた。(1)条件の類似した他の作物の作物管理係数を用いる方法(C_t) (2)新しく提案した等価C値の推定法に既知のC値を適用して求める方法(C_e)。その結果、C_tで土壤侵食量を予測すると実測値の6.7~17.0倍に、C_e値を用いると7.5~58.8倍の数値を示した。C_t値を用いて予測したパスパルム区と自然雑草区の土壤侵食量はそれ

ぞれ 5.9t/ha/year と 10.2t/ha/year で、許容土壌侵食量を下回り、インドネシアにおける他の実測値が数百 t/ha/year であるのと比較すると極めて低い数値であった。今回の実験では、C値の実測値は、完全除草区が 0.062、パスパルム区が 0.008、自然雑草区が 0.0053 で、インドネシアのコーヒー園で一般的に用いられるC値(0.2)より低い値であった。この実験で得られたコーヒーの作物係数Cb値と雑草の影響を考慮したサブファクターCs値を用いれば、雑草による異なった被覆率下でのコーヒー園の作物管理係数Ccを、 $Cc = Cb \cdot Cs$ の式で評価することができる。