

## 長崎県におけるオリーブの栽培適地性の農業気象学的解析

—第2報 クリンカアッシュを用いた細粒赤色土の土壤改良による物理的特性の評価—

大場和彦<sup>\*1</sup>、山本清嵩<sup>\*2</sup>、下高敏彰<sup>\*1</sup>、白濱祐介<sup>\*3</sup>、久保寺秀夫<sup>\*4</sup>Agro-meteorological analysis of adaptability of land for olive cultivation in  
Nagasaki Prefecture(2) The evaluation of physical character to improve fine particle red soil and  
red-yellow soil using clinker ash.OHBA Kazuhiko, YAMAMOTO Kiyotaka, SHIMOTAKA Toshiaki,  
SHIRAHAMA Yusuke and KUBODERA Hideo

## Summary

In this study on fine red soil in the northern part of Nagasaki Prefecture, the following findings were obtained as a result of experiments to improve soil using clinker ash. The components of clinker ash in this region were the same as those of clinker ash produced from other thermal power plants. We found that the addition of clinker ash resulted in an increase in the amount of available moisture in both red soil and red and yellow soil and that the coefficient of permeability expanded and drainage improved when the mixing ratio increased. In cultivation studies after the soil improvement, the highest average yield of *komatsuna* and *chingensai* (*Brassica Rapa*), compared with control plots, was obtained at mixing ratio 40% and 10%, respectively.

**Keywords :** (olive, environment, clinker ash, soil improvement, soil physics)

## 1. 緒言

長崎県における農業では、高齢化や後継者など担い手不足等から生じる耕作放棄地の増加や、中山間地や島嶼部地域での人口の減少による限界集落地の増加などの問題が深刻化している。

このような状態が続くと、地域での文化と流域の保全や農業を継続していくことができないばかりか、地域社会の衰退を引き起こす可能性があるのが現状である。このような問題を解決するためには、地域社会における地場産業の創出や雇用確保を目的とした新たな6次産業の

<sup>\*1</sup> 所属:環境・建築学部 人間環境学科 教授

<sup>\*2</sup> 所属:アクランドサカモト KK

<sup>\*3</sup> 所属:長崎船舶装備 KK

<sup>\*4</sup> 所属:九州沖縄農業研究センター

2011年3月31日受付

2011年6月6日受理

創出として、近年オリーブ栽培が注目されている。このため、長崎県の中山間、島嶼部地域の活性化を目的としてオリーブの植樹が始められている。Photo.1 に示す風景は、佐世保市黒島地区のオリーブを栽培している所でオリーブ樹は 2~3 年生のものである。Photo.1 に見られる地点は周辺が耕作放棄地で雑草が生い茂っている状況である。Photo.2 は同地点において土壌が細粒赤色土であり、段々畑に開墾してオリーブやブルーベリー果樹を植樹している。実際に植樹されているオリーブには、Photo.2 のように 5 月下旬に撮影したもので、白い花が開花しており、さらに活着の促進や植樹後の根の傷め防止と防風対策として、それぞれ支柱立てがなされている。



Photo.1 Olive cultivation on Kuroshima island.



Photo.2 The landscape of olive tree planting.

本研究の第 1 報<sup>12)</sup>では、長崎県北部地域がオリーブ栽培に対して気象環境と土壌環境が適しているかについての問題などを提起し評価した。その中で、海外での先進地域の気象と土壌環境のデータを収集できなかったので

解析をしなかった。さらに、耕作放棄地を開墾して新たなオリーブ植樹が実施されているが、長崎県の特有な土壌として細粒赤色土や赤黄色土で構成されており、土壌の酸性や粘質性と湿潤性が高いために、気象条件によっては湿害を生じやすい特性があるため、オリーブ栽培に適した土壌に改善する必要があることを指摘した。

そこで、第 2 報では、第 1 報の提起された気象環境中で、海外の先進地域の気象環境について論述をしなかったため、今回は地中海地域の気象データを用いて、佐世保市の気象データを比較して検討した。また、前報で指摘された長崎県北部地域の土壌環境に焦点を合わせて、長崎県北部地域の土壌環境に対してオリーブに適した土壌改良について研究を実施した。土壌改良資材は火力発電所から発生するクリンカアッシュを用いて、研究対象地域の土壌をオリーブ栽培に適した土壌に改変するためのクリンカアッシュの投入量割合と土壌の物理性の変化の解明と土壌改良資材投入量の違いによる葉菜類による栽培試験について検討した。

## 2. 海外先進地におけるオリーブ栽培の環境の比較

本研究の第 1 報<sup>12)</sup>では、日本でのオリーブ栽培の大部分を占める香川県の小豆島を対象にして、長崎県の佐世保市、平戸市の 2 箇所の 2008 年と 2009 年の 2 年間分の気象データと土壌データについて比較を行い、栽培における問題点を抽出した。しかし、第 1 報で述べられていない原産地でオリーブ栽培が最も盛んであるのは地中海地方であるため、追加研究として下記の地域を対象とし、

- ① 長崎県佐世保市  
(E33.15° , E129.74° , 高度 16.7m)
- ② スペイン(Madrid/Retiro)  
(N40.42° , W3.68° , 高度 667m)
- ③ イタリア(Roma/Fiumicino)  
(N41.8° , E14.23° , 高度 2m)
- ④ ギリシャ(Athinai/ Airport)  
(N37.9° , E23.73° 高度 28m)

の 4 箇所について、2000 年平年値気象データ<sup>2,3)</sup>と土壌データ<sup>4)</sup>を使用して比較検討を行った。上記から、先進地域は日本に比べて緯度が高く、福島県若松市から北海道函館市に相当する地域の範囲であり、日本では積雪や低温などの問題が生じる所であって、落葉果樹の栽培産

地であり、常緑果樹が栽培できる地域でない。

### 2.1 気温環境について

佐世保市、スペイン、イタリアおよびギリシャはそれぞれ4地点の月ごとの平均気温について Fig.1 に示す。4箇所の全体を通して見ると、冬季は、スペインと佐世保がほぼ同じ値で6°C前後で、イタリアとギリシャが8~10°Cであり、夏季はギリシャと佐世保が25°C以上と高く、スペインとイタリアは25°C程度と比較的涼しい環境である。最も温暖な年変化を示したのはギリシャであったが、年平均気温では、佐世保市が16.5°C、スペインが14.4°C、イタリアが15.6°C、ギリシャが18.4°Cで最も高かった。4箇所の年平均気温は14~18°Cの範囲内で、オリーブの栽培適温域であり、日本における柑橘類産地の適温域として年平均気温が14~16°Cであることを考えると、気温については佐世保市でも十分に栽培可能な範囲であるといえる。

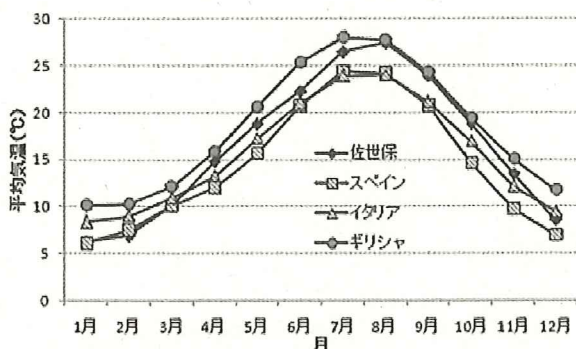


Fig.1 Annual variation in monthly mean temperature at four points.

### 2.2 湿度環境について

佐世保市、イタリアおよびギリシャについてそれぞれにおける3地点の月ごとの月平均湿度を Fig.2 に示す。オリーブは地中海式気候の地中海地方が原産であるため、比較的乾燥には強い植物であるが、日本の気候はモンスーンによる温暖湿潤な気候であるため多雨による地上部の多湿が病害虫などの多発生につながり、地下部においては湿害の発生に伴い根腐れなどの問題に大きく関わってくる。

スペインの湿度の年平均値データは得ることができなかつたため、佐世保市、イタリア、ギリシャの3箇所での

比較となったが、年平均湿度では、佐世保市が71%、イタリアが74.8%、ギリシャが61.1%とイタリアが最も高い値を示した。続いて、月ごとの変化を見ると、ギリシャは夏季期間において、4月から減少して7,8月にかけて最低湿度約50%と下がっているのに対して、佐世保市では、ギリシャと反対に4月から上昇し、7月に最高湿度80%と蒸し暑さを象徴するようになっている。イタリアの湿度は6月から8月にかけてわずかに減少しているが、1年を通して70~80%の範囲内で推移し、変化形態も2地点に比べて小さかった。

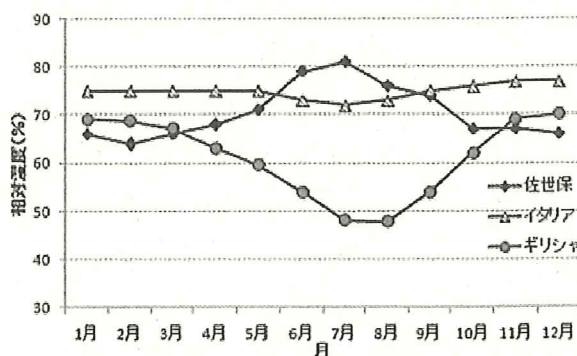


Fig.2 Annual variation in monthly mean relative humidity at three points.

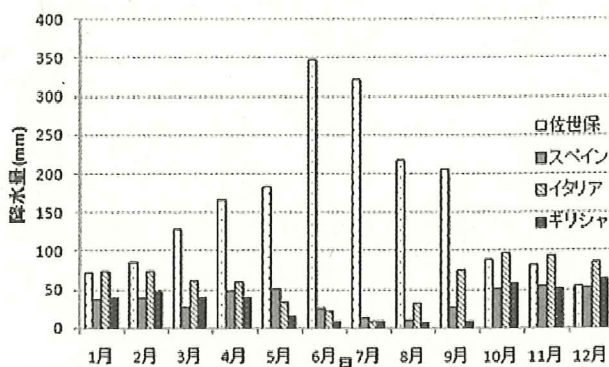


Fig.3 Annual variation in monthly mean precipitation at four points.

### 2.3 降水量の環境について

水は植物にとって欠かせない物質であり、灌漑施設がない場合は、天水の降水量に依存している。佐世保市、スペイン、イタリアおよびギリシャは、それぞれ4地点の月ごとの年平均降水量の変化について Fig.3 に示す。

オリーブは地中海地方が原産の植物であるため、乾燥を好む植物であるとされているが、良好な生育のためには、年間500~1000mm程度の降水量が必要とされる<sup>9)</sup>。

4 地点を比較すると、スペインの年平均降水量は 440.3mm、イタリアは 716.9mm、ギリシャが 383.8mm で、年間を通して降水量が少なく、特に 6 月から 9 月にかけて、低く推移しているのに対して、佐世保市の平年値は 1949.8mm と最も降水量が小さいギリシャの約 5 倍という値であった。先進地域の海外における降水量の年変化は全体的に 100mm 以下で推移し、それに比べて佐世保は 6~9 月が 200mm 以上の降水量である。

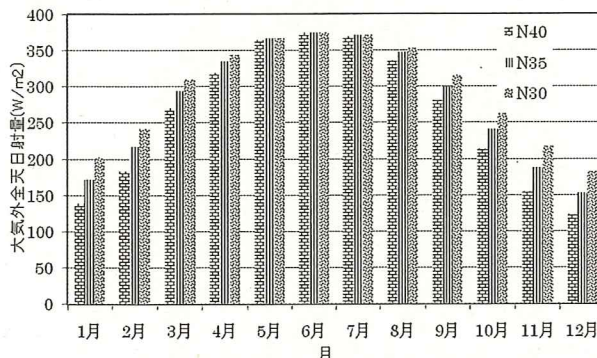


Fig.4. Annual variation in extraterrestrial radiation at 30,35 and 40° north.

また、佐世保市ではオリーブの開花時期である 5 月~6 月にかけて急激に降水量が増加しているのに対し、他の地域は 50mm 以下と極めて少なく、乾燥気味で風媒による受精に対して好環境である。このような状況下で、開花期間中の連続降水は受粉や結実に大きな影響を与えるため、海外では全く問題を生ずることはないが、佐世保は降水の影響を受ける可能性があり、その対策として、雨除け栽培方式などビニールハウスの設置が必要になると考えられる。一方、実際の日照時間についてはデータが得られなかったため、日照時間に最も関係する日射量について検討した。日射量は大きく降水量に対して変化するものであるから、そこで、緯度別による大気外全日射量の月別変化を Fig. 4 に示す<sup>19)</sup>。

冬季の日射量は緯度が低いほど大きく、夏季においては緯度の違いによる日射量はあまり違いがないが、地中海では Fig. 3 に示されるように降水量が極めて少ないので、日射量は佐世保に比べて多日射であると考えられる。

#### 2.4 オリーブ原産地の土壌について

世界の土壌図からみると<sup>4)</sup>、オリーブ原産地の土壌は赤黄色土地中海土壌（テラ・ロッサを含む）で分布して

おり、植生図は多雨堅葉樹林である。スペイン、イタリア、ギリシャの土壌は、地中海黄褐色土で地中海沿岸域の夏に強い乾燥のある気候下であり、赤色味をおびた土色と洗脱が進まないために断面に石灰の集積が普通見られる土壌である。テラ・ロッサという土壌は石岩を母材としたもので、夏乾燥、冬湿潤地中海気候下に分布する赤色土である。この土壌と似たものは、沖縄県南西諸島の琉球石灰土の台地に分布している。テラ・ロッサは pH が、中性に近い反応を示し、塩基飽和度が高いという特徴を持っている<sup>7)</sup>。

#### 3. クリンカアッシュの特性について

クリンカアッシュとは、火力発電所の微粉炭燃焼ボイラにおいて石炭が熔融固化した塊状のものをボイラ底部の水槽で受けて急冷し、回収時にクラッシャーで粉砕して粒径を 25mm 程度以下の粒状としたもののことであり、Photo.3 に示される。その主成分は、一般の土壌とほぼ同様で、火山から噴出した軽石（南九州でのボラ、コラ等）と似た特性を持ち、植物の生育にも適している。クリンカアッシュには次のような特徴がある。

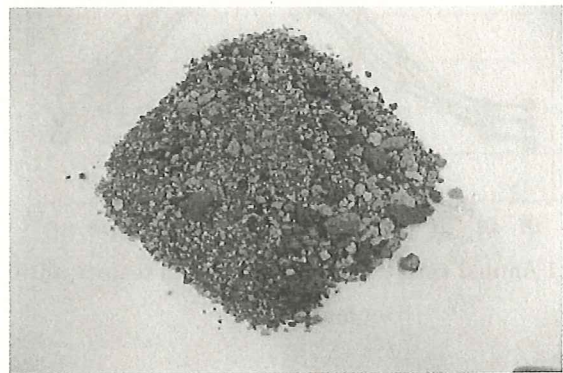


Photo.3 The clinker ash used in the experiment.

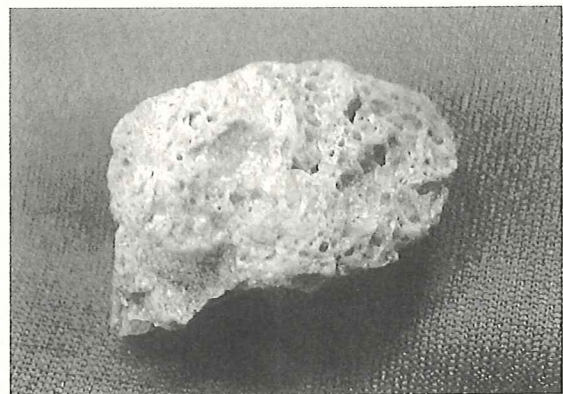


Photo.4 The pore space of clinker ash.

まず、クリンカアッシュの粒子は、Photo.4 に示されるように、表面に1~20 $\mu$ mの多数の細孔のある孔隙構造であり、水分は無数の細孔に染み込んで、吸収量を増大させると同時に植物の生育に必要な水が確保でき、肥料を投入した場合には、肥料成分も細孔に流れ込むために流亡が少なくなって肥料効率を増大させる。

次に、クリンカアッシュは細礫と粗砂を中心とした砂に似た粒度分布をしており、このため清浄な砂や砂礫と同程度の高い排水性を持つ。また、赤熱状態でボイラの水槽に落下した後急冷水洗されているため、化学的にも安定している。最後に、土壤改良材としてクリンカアッシュを考えた場合には、安価に入手できるという事が大きな利点である。重粘土壤の改良では、資材を1割以上の割合で混合する機会が多いため、川砂のように土壤改良に効果的であっても高価な資材コストとして利用が難しい。

#### 4. 実験方法

この研究は、2009年12月5日に佐世保市黒島に気象観測装置(気温、湿度、風向風速、日射量および土壤水分)を設置して実験を開始した。現在も観測は継続しているが、データの解析は中途段階であり、今後第3報として公表する予定である。

今回の研究では2010年5月25日にデータ回収と同時に土壤のサンプリングを実施し、さらに長崎県農林技術開発センターの圃場の土壤も採取して、今回の解析の材料として用いた。

##### 4.1 長崎県の土壤について

現在オリーブ栽培が行われている佐世保市黒島を含め、長崎県に多いのが赤色土と赤黄色土である。赤色土と赤黄色土は西南日本に広く分布しており、塩基は少なく強酸性で、交換酸度も高い、そして粘土含量が多く堆積状態が緻密であるため物理性が悪いという特徴を持っている<sup>9)</sup>。オリーブは土壤に対する適応性が大きく、広範囲の土壤で栽培が可能とされているが、酸性の土壤を嫌い、土壤の通気性要求度が高いため、両者においては土壤改良が必要と考えられる。

本研究では、火力発電所から産出されるクリンカアッシュという多孔質を保持し、粒径が比較的小さい石炭灰

を用いて土壤改良を行っている。石炭灰は弱アルカリ性であり、土壤の排水性と保水性を高めるため、赤黄色土の改良には、非常に効果的であると思われる。

##### 4.2 クリンカアッシュの成分分析法

クリンカアッシュの元素組成分析については、多量元素(ケイ素、アルミニウム、鉄、チタン、マンガン、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、リン)分析は、450 $^{\circ}$ Cで90分間加熱した試料を、ホウ酸リチウムと1:10の割合で混和して、熔融によるガラスビードを作成して、九州沖縄農業研究センターの蛍光X線装置(理学、3070型)にかけて測定した<sup>6)</sup>。

##### 4.3 土壤改良の方法

実験に使用したクリンカアッシュは九州電力松浦火力発電所で産廃したものを利用した。土壤は、佐世保市黒島の細粒赤色土と諫早市にある長崎県農林技術開発センター圃場の細粒赤黄色土を採取したものである。クリンカアッシュについては、元素組成分析とpHの測定を実施した。採取した土壤は不純物などを除去してよく混合した後、室内で風乾して、2mm径のふるいにかけて土壤を、対照区(0%)とクリンカアッシュを重量比10%、20%、30%、40%、50%の割合で混合した試料を100ml採土管5個に均一に詰めて、合計で60個のサンプルを準備した。

土壤の物理性については、pF試験と変水位透水試験、および三相分布の測定を3回程度行い、これらの値を平均値で示した。これらの実験装置は、当大学学部に実験装置がないので、九州沖縄農業研究センターの実験施設を利用して実施した。

##### 4.4 土壤の三相分布の測定法

土壤は固相(土壤粒子、植物根、腐植など)、液相(土壤水)および気相(空気)を構成成分とする三相系物質になっている。三相のうち固相は、作物の生育に必要な養分の供給原であり、同時に肥料成分を吸収して、作物を供給する重要な媒体であるが、固相の割合が大きいと水と酸素の供給源である孔隙の割合が不足するので、土壤の肥沃性や作物の生育には、この土壤三相の適性な関係が決め手となり、三相分布の状態を知ることが土壤診断の基本となっている<sup>1)</sup>。

また、土壤三相の適性範囲を作り出すことが、土壤改良の目標となる。そこで、土壤の三相計はアナログ型実容積測定装置 (DIK-1150 型、大起理化 KK) を使用し、pF3.0 の段階での実容積の計測を 3 回行い、その平均値を使用した。

#### 4.5 土壤の水分恒数の測定法

pF 試験は土壤粒子が水分を吸着している力を示すもので、水分保持力を示すものである<sup>1)</sup>。pF 試験については、土壤 pF 測定器 (DIK-3423 型、大起理化 KK) を用いて、毛管飽和させた試料について加圧板法で pF2.0 (100cmH<sub>2</sub>O) (圃場含水量)、pF3.0 (1000cmH<sub>2</sub>O) (毛管連絡切断水分量)、pF4.2 (1500kPa) (永久萎凋点水分量) に設定し、自動圧力調節器による加圧または窒素ポンペで加圧を行い、安定期間を考慮して 1 週間ごとに各段階での試料の重さを測定し、水分容積率を求めた。

#### 4.6 土壤の透水性の測定法

飽和透水係数の測定方法には、定水位法と変水位法があり、比較的透水性のよい土壤に対しては、定水位法が用いられ、透水性の悪い土壤には変水位法が適用される。本研究では変水位透水性測定器 (DIK-4012 型、大起理化 KK) を使用し、十分に飽和させた各処理の試料について、変水位目盛管を一定量の水が通過する時間を 3 回ずつ計測して、平均値から透水係数を算出した。

#### 4.7 pH の測定

我が国では、土壤に対する水の比を 1:2.5 として調整した懸濁液の pH を測定する方法が広く用いられている<sup>10)</sup>。

ここでは、クリンカアッシュ、新鮮な赤色の生土と赤色土の各処理区毎の pH を測定する。乾土 10g 相当量の試料を 100ml 容のビーカーに入れて、乾土に対する水の比が 1:2.5 になるように蒸留水を加え、かき混ぜて、1 時間以上放置する。測定前に軽くかき混ぜて懸濁状態としたのち、ガラス電極の薄膜球部を懸濁液に浸し、30 秒以上経過して pH 値が安定した時点での値を読み取った<sup>10)</sup>。

分析に用いた試料は、赤色土の対照区と九州電力相浦火力発電所から産出されるクリンカアッシュ原土およびクリンカアッシュ混合による各処理区別の土壤を用いて、上記に記述する pH メーターを用いて、土壤の pH の変化

について調査した。

#### 4.8 土壤改良後の栽培試験法

クリンカアッシュの元素組成分析でいろいろな元素が含まれているので植物にどのような影響を与えるかを調べる必要がある。沖縄県のクリンカアッシュを用いて、久保寺が島尻マーグ土壤を対象にして土壤改良を実施し、レタス栽培試験を行なっている<sup>6)</sup>。そこで、1/10,000a のポットを使用して、4.3 で記述されている土壤処理区で佐世保市黒島の細粒赤色土について各処理区の土壤を充填した。短期間の栽培期間においてクリンカアッシュを施用した処理区別の土壤改良の影響を評価するために、生育が比較的早く、土壤の pH がオリーブと比較的に通った中性から弱酸性で生育するコマツナとチンゲンサイを用いて栽培試験を実施した。栽培期間はコマツナが 2010 年 9 月下旬から 11 月下旬の約 2 ヶ月間、チンゲンサイは 2010 年 12 月から 2011 年 2 月中旬までの期間である。

種子はコマツナが 1 ポット当たり 3 個、チンゲンサイが 1 ポット当たり 1 個を播種し、化学肥料 (N:P:K=18:18:18) を同じ施肥量を与えて栽培し、生育を調査した。

### 5. 実験結果と考察

#### 5.1 九州電力松浦火力発電所におけるクリンカアッシュの元素組成

九州電力松浦火力発電所から産出されるクリンカアッシュの元素組成を Fig.5 上部に示した。クリンカアッシュの組成は SiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が全体の約 83% を占めており、残りは CaO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O および TiO<sub>2</sub> の 17% である。これらの値は久保寺 (2008) が沖縄電力 KK 具志川発電所のクリンカアッシュを分析した値 (Fig.5 下部参照) とほぼ組成が同様であった。

しかし、沖縄のクリンカアッシュは電気伝導度、陰イオン保持量、微量元素などが、松浦火力発電所で産出されたクリンカアッシュに比べて極端に多く含まれている。これは、赤熱状態でボイラの水槽に落下したものを海水で急冷水洗したためではないかと思われる。また、参考のために、北海道電力苫東厚真発電所から産出されたクリンカアッシュの成分とも比較を行ったが、こちらも SiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が組成の大部分を占めており、大きな違いは

なかった。その要因は石炭の主な輸入先がオーストラリアからであり、大きな変化が見られなかった

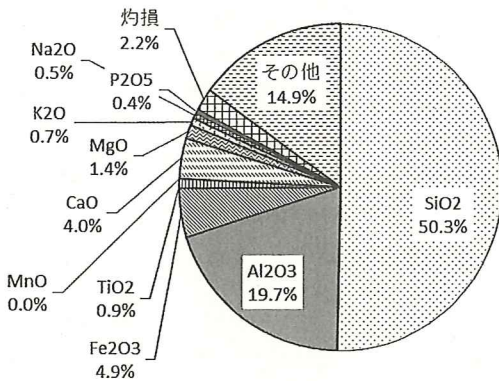
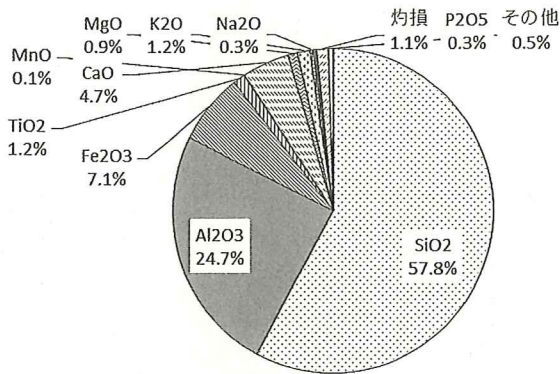


Fig.5 Components of clinker ash.  
 (Upper:Matsuura Thermal Power Plant,  
 Lower:Okinawa Thermal Power Plant)

## 5.2 変水位透水試験結果

土壤の透水性が悪いと土壤中に多量の水分が貯留されて土壤中の酸素不足が生じ、根の呼吸不足や根腐れに伴って湿害の原因と作業性が悪くなるので、透水係数が作物栽培で重要な要因である。

ここで、変水位透水試験から得られた結果を Table1 に示す。クリンカアッシュを土壤に投入することによる飽和透水係数の変化については、黒島地区の赤色土において原土の透水係数が  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  オーダーと赤黄色土原土では  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  オーダーであった。透水係数が  $10^{-3}$  から  $10^{-6}$  の範囲は透水性が悪い土壤とされ、排水性の改善、湿害が発生しやすい、降雨後の機械化作業が出来ないなどの問題が生ずる要因である<sup>1)</sup>。

そこで、Table 1 に示すように、クリンカアッシュの混入割合が増加するにしたがって、赤色土は  $10^{-3}$  オーダー、赤黄色土では  $10^{-2}$  オーダーまで透水性が増大し、良好になることが明らかになった。この結果から、クリンカアッシュを用いることにより、長崎県北部地域におけるオリーブ栽培に関して土壤の排水が良好となり、オリーブの湿害が改善されることがわかった。しかし、クリンカアッシュの混合比が多くなると根系の発達に問題になるかについては、栽培試験によって確認する。

Table1 The coefficient of saturated permeability improved mixing ratio.

	赤色土	赤黄色土
対照区(0%)	$3.2 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-3}$
10%混合	$5.07 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-3}$
20%混合	$5.9 \times 10^{-4}$	$4.1 \times 10^{-3}$
30%混合	$1.3 \times 10^{-3}$	$3.8 \times 10^{-3}$
40%混合	$2.4 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$
50%混合	$3.5 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-2}$

## 5.3 クリンカアッシュ混入した処理区別の赤色土・赤黄色土の水分保持特性

土壤の水分保持力は、耕土層内の水分量を示すもので、連続干天時に蒸発散量が増加するに伴って根がどこまで水分を吸収することができる期間のパラメータと考えられ、早魃時の耐乾性の要素となる。

そこで、Fig.6 は細粒赤黄色土と細粒赤色土の pF-水分曲線の結果について示す。赤黄色土においては対照区の原土土壤水分量は pF2.0 の場合約 38%で、pF4.2 の場合約 30%である。クリンカアッシュの混合比が増加するにしたがって、体積含水率はほぼ比例的に減少傾向を示した (Fig.6 上部参照)。

しかし、赤色土では、赤色原土 (混入比 0%) の土壤水分量は pF2.0 の場合約 41%で、pF4.2 の場合約 25%で、混合比 10%と混合比 20%よりも体積含水率が低いという結果になった (Fig.6 下部参照)。この原因については、試料を準備する段階で、採土管の土の詰め方に問題があったのではないと思われる。次に、pF-水分曲線で得られたデータから全有効水分量と生育有効水分量を Table 2 に示す。Table 2 から、全有効水分量 (pF2.0-4.2) は赤色土と赤黄色土において、原土に比べて若干増加又は同程

度に維持されているが、生育有効水分量 (pF2.0-3.0) は、クリンカアッシュを混入することにより水分量が増加し、赤色土においては、対照区と比較して混合比が10%の場合には約22%増で、混合比20%の場合に約29%増であった。

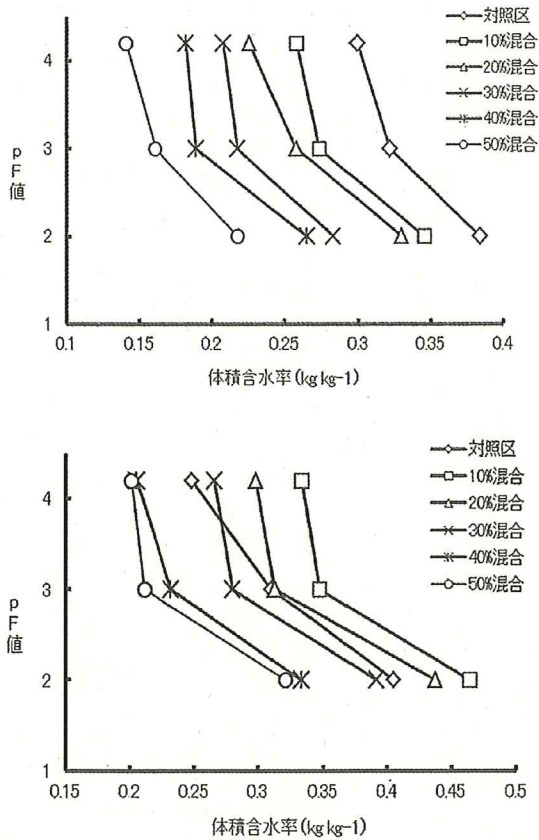


Fig.6 The pF-soil moisture curve improved mixing ratio. (Upper: fine red-yellow soil, Lower: fine particle red soil)

Table 2 The available moisture of experimental soil improved by mixing with clinker ash.

混合比	赤色土		赤黄色土	
	生育有効水分量(%)	全有効水分量(%)	生育有効水分量(%)	全有効水分量(%)
対照区(0%)	9.57	15.74	6.27	8.56
10%	11.71	13.14	7.32	8.81
20%	12.35	13.86	7.22	10.42
30%	11.11	12.47	6.46	7.45
40%	10.04	12.8	7.55	8.27
50%	11.03	12.01	5.27	7.72

このことから、クリンカアッシュを長崎県北部地域の

土壌に投入することにより、原土に対して生育有効水分量が増えて、早魃などの水分ストレスに対して生育に有利に働くことが明らかになった

5.4 クリンカアッシュを投入した処理区別の三相分布の測定結果

Table 3 にクリンカアッシュを投入した赤色土と赤黄色土の pF3.0 状態における時の三相分布の測定の結果を示す。Table 3 上段に示すように赤色土においては、クリンカアッシュの混合比が10%の時に液相率が最大であり、混合比が増加することで、液相率の割合が低下し、逆に気相の割合が増加した。また、固相率はあまり大きな変化は見られなかった。

このことから、酸素の供給原である孔隙が増加し、通気性と透水性が改善されていることがわかる。また、赤黄色土も同様な傾向を示し、液相率が16.2%と最も少ない値で、赤色土の21.1%より約5%少なかった。

Table 3 The three phase of experimental soil improved by mixing with clinker ash

	赤色土		
	固相	液相	気相
対照区(0%)	37.75	31.02	31.23
混合比10%	38.08	34.73	27.19
混合比20%	37.23	31.37	31.40
混合比30%	39.71	28.05	32.25
混合比40%	39.80	23.26	36.95
混合比50%	40.36	21.16	38.48

	赤黄色土		
	固相	液相	気相
対照区(0%)	35.56	32.22	32.22
混合比10%	34.18	27.36	38.46
混合比20%	37.32	25.828	36.86
混合比30%	37.24	21.874	40.89
混合比40%	38.58	18.968	42.45
混合比50%	39.17	16.158	44.68

オリブを栽培する上では、土壌の通気性要求度を満たすことが重要であるため、クリンカアッシュを投入することで、気相の割合が増し、孔隙が十分であれば、多量の降雨や踏圧などによる生産力の低下を防ぐことができると思われる



Table 4 The variation in pH value of experimental soil improved by mixing with clinker ash

対照区	5.49
処理区(10%)	5.87
処理区(20%)	5.83
処理区(30%)	5.88
処理区(40%)	6.07
処理区(50%)	6.11
クリンカアッシュ	7.57

本研究で使用した九州電力松浦火力発電所のクリンカアッシュは、赤熱状態でボイラの水槽に落下した後、淡水で急冷水洗されているため、含まれるイオン濃度や電気伝導度は極端に低いが、石炭灰の多量施用時には、塩類濃度や土壌の pH の上昇が考えられるため、作物の収量の低下につながる場合がある。そこで、赤色土の各処理区とクリンカアッシュの pH の値を Table 4 に示す。

クリンカアッシュ原土では、pH7.57 と弱アルカリ性側であり、赤色土原土では、pH5.49 と酸性土壌である。クリンカアッシュの混合比が増加するにしたがって pH 値は上昇し、中性状態になった。オリーブは酸性土壌を嫌う植物なので、投入することはアルカリ側へ土壌を持っていくことになるので良好になる。

このことは、普通に栽培する場合 赤色土において事前に石灰を散布する必要があるが、クリンカアッシュを用いることにより、石灰の散布コストと土壌の物理性改善につながり、一石二鳥の効果が得られる。

### 5.5 土壤改良した土壌での生育反応

クリンカアッシュ投入混合比の違いによる細粒赤色土の各処理区について、コマツナは 3 株、チンゲンサイは 1 株ずつを 1/10,000a ポットで各処理区 5 個ずつ栽培し、土壤改良による作物生育への影響度を調べた。その結果、クリンカアッシュの混合比が増加しても、作物の生育と収量的には大きな影響は見られず、正常な生育であった (Photo.5 参照)。栽培試験結果によるとコマツナとチンゲンサイの平均収量は、それぞれ Fig.7 に示す。Fig.7 上段に示すコマツナの栽培試験では、対照区と比較してクリンカアッシュ混合比 40%が対照区に比べて約 27%増という最も高い収量を示しているが、その他も対照区よ

り高い値を示した。

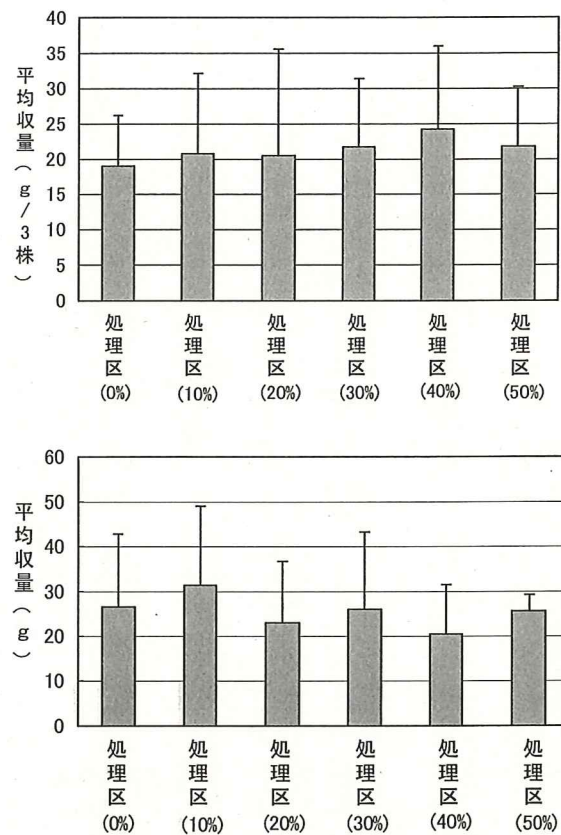


Fig.7 Mean yields of *komatsuna*(upper) and *chingensai*.(lower)

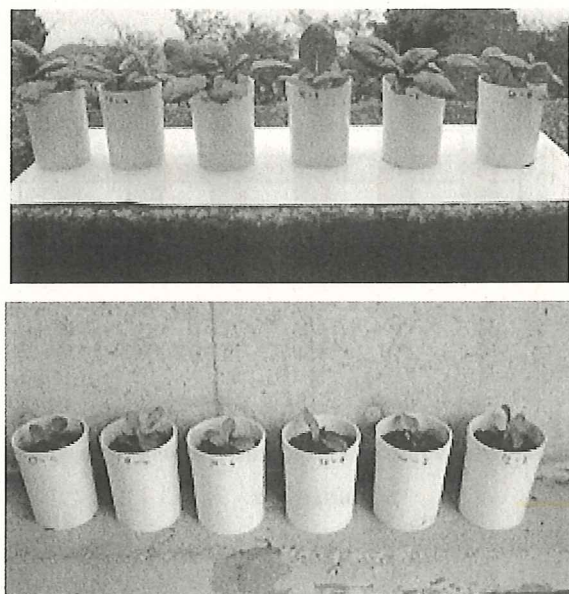


Photo.5 The cultivation experiments of *komatsuna* and *chingensai* using mixing ratio. (Upper :*komatsuna*, Lower :*chingensai*)

一方、チンゲンサイの栽培試験では、Fig.7 下段に示すように混合比 10%区の収量が対照区に比べて最も高い値で約 18%増となり、その他の区は同程度からわずかに少ない値であった。

続いて、チンゲンサイの栽培試験では、収量以外にも各処理区の茎数と葉長の計測を行った(Fig.8 参照)。茎数では、混合比 50%が最も多く、対照区と比較して 30%増の 13 本という結果であった。葉長については、混合比 10%が最も高く、対照区と比較して約 6%増という値を示した。しかし、葉の長さについては、各処理区で大きな差がないため誤差の範囲であると考えられ、投入量に違いによる影響は少ないと考えられる。

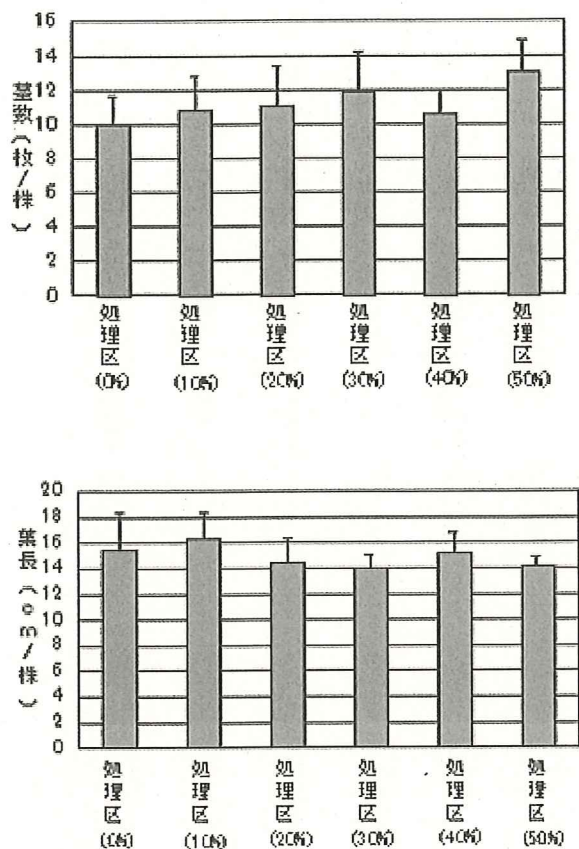


Fig.8 The stem number (upper) and leaf length (lower) of chingensai.

以上の結果から、葉菜類の栽培試験においてクリンカアッシュ投入量の違いによる土壤改良後の栽培試験は、作物栽培の生育に支障がないことが明らかになり、土壤の物理性(透水性と水分保持力)が改善されていることが

明らかになった。

さらに、オリーブは浅根性であり、酸性土壤を嫌うので、上記の改善によりオリーブ栽培としての土壤の問題が解決されていることが明らかになった。

## 6. まとめ

今回は第 1 報で検討しなかった長崎県北部地域の気象環境、特に海外先進地域のオリーブ栽培の気象と土壤環境を検討すると共に、長崎県北部地域の赤色土および赤黄色土を対象にして、クリンカアッシュを用いてオリーブ栽培に適した土壤改良の試験を試み以下の知見が得られた。

1)地中海地域に分布するオリーブ栽培先進地域の気象環境は年平均気温が佐世保地域とほぼ同程度であり、年平均湿度も大きな違いは見られないが、先進地域では夏季に湿度が低くなっている。しかし、降水量は年降水量で大きな違いがみられ、先進地域に比べて約 2~4 倍であった。その中で、降水の分布形態は佐世保が夏季に多く、先進地域は極めて少ない状況で、開花期から成熟期が大きな違いであった。

2)九州電力松浦火力発電所から産出されるクリンカアッシュの成分は、沖縄電力具志川発電所、北海道電力苫東厚真発電所で得られる成分とほぼ同様であった。しかしクリンカアッシュの組成に含まれるイオンの量や、電気伝導度については、回収されたクリンカアッシュを洗浄するかどうかによって大きな違いが出るようである。

3)クリンカアッシュ投入量の違いによる飽和透水係数の変化については、クリンカアッシュの混合比が増加するにしたがって、対照区に比べて透水係数が大きくなり、排水が良好になることが明らかになった。この結果から、土壤にクリンカアッシュを施用することによって、土壤中の孔隙率が増加し、湿害が改善されることが明らかになった。

4)クリンカアッシュを混入した赤色土、赤黄色土の水分保持特性については、クリンカアッシュを投入することにより、赤色土と赤黄色土の生育有効水分量と有効水分量は増加し、オリーブ栽培において水分ストレスの影響を受けない範囲が広がり、早魃時の早魃被害が小さくなることが明らかになった。

5)土壤改良後のコマツナとチンゲンサイの栽培試験にお

いても、クリンカアッシュ投入量の増大に対しても生育は良好であり、クリンカアッシュによる悪い影響は見られなかった。葉菜類の平均収量については、対照区に対してコマツナの栽培試験においては、混合比 40%が、チンゲンサイの栽培試験では、混合比 10%が対照区と比較して最も高い収量を示した。

## 謝辞

今回の研究は、国土交通省「建設業と地域の元気回復助成事業」の支援で、長崎九十九島オリーブ振興協議会の事業「地域建設業の資源を活用したオリーブ植樹事業による各地域発のコミュニティービジネス(農業・観光資源)創出事業」の委託により、「長崎県におけるオリーブの適地性の評価と問題点の解明」について研究を実施した。この研究の橋渡しと助言を頂いた当大学大学院客員教授山中孝友先生に感謝を申し上げます。

また、この会の代表者である株式会社堀内組社長山下功三氏、グループ経営統括事業本部取締役天島道夫氏、新規事業推進室長吉井重忠氏および山本由有貴氏に研究連絡や現地での気象観測機器設置や観測データ収集のための援助やご助言を頂いた。ここで感謝申し上げます。さらに、研究は 2 年目を向えてデータの収集と解析が始めたばかりであり、観測途中であるが、これまでに得られている資料を中心に解析を行った。今回の実験と器具は(独法)農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターの施設を利用して実験を実施した。現地での佐世保市オリーブ協議会のメンバーである物多舎の皆様のご支援を頂いたので感謝申し上げます。最後に、大変お忙しい時期に論文の英文等で校閲いただいた当学部長ブライアン、パークガフニ博士に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 土壤物理研究会編：土壤の物理性と植物生育、養賢堂、(1979)、p420.
- 2) 気象庁編：日本気候表－全国の平年値一覧－. 財団法人気象業務支援センター刊、(2001)、p320.
- 3) 国立天文台編：平成 23 年理科年表、第 84 冊、丸善 kk、(2010)、p176-355.
- 4) 久保田鉄工 KK：UABAN KUBOTA, 特集・土壤、アーバンクボタ、13(7)。(1976)、p1-52.

- 5) 久保寺秀夫：クリンカアッシュの施用は重粘土壤ジャガールの物理性を改良する. 平成 18 年度九州沖縄農業研究センター研究成果情報、(2006)、p389.
- 6) 久保寺秀夫：クリンカアッシュの施用がジャガールの土壤理化学性とレタスの生育および無機成分に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌、77(5)、(2006)p541-548.
- 7) 久間一剛他編：土壤の事典、朝倉書店、(1993)、p566.
- 8) 間苧谷徹：果樹園芸博物学、養賢堂、(2005)、p167-170.
- 9) 長崎県：地力保全基本調査総合成績書. 長崎県総合農林試験場、(1978)、p455.
- 10) 長崎県農林部・長崎県施肥合理化協議会編：土づくり手引書. 長崎県農林部・長崎県施肥合理化協議会、(1985)、p233.
- 11) 日本土壤協会：土壤機能モニタリング調査のための土壤、水質及び植物体解析法、日本土壤協会刊、(2001)、p1-321.
- 12) 大場和彦・山本由有貴・下高敏彰・隈上裕一郎：長崎県におけるオリーブの栽培適地性の農業気象学的解析第 1 報気象と土壤からみた適地性の評価. 長崎総合科学大学紀要、第 50 巻、(2010)、p47-56.
- 13) 斎藤隆：蔬菜園芸の事典、朝倉書店、(1991)、p324.
- 14) 内嶋善兵衛・竹前彬・岩倉尚哉・平木永二：宮崎の四季と気象. 鉦脈社、(2003)、
- 15) ミハイル・イ・ブディオコ著、内嶋善兵衛訳：地表面の熱収支、成山堂書店、(2010)、p269.
- 16) 矢野清他 3 名：花崗岩土壤への土壤改良資材混入による水の有効利用と茶の生育. 香川県農業試験場研究報告、40 号、(1989)、p43-56.