

日本古来の土壌固化技術を使った
耕地の土壌流出を抑制する簡易堤防の開発



青森県立名久井農業高等学校

TreasureHunters

松橋大希、宮木琢愛、中堤康仁、田村侑晟、岩間友紀

大向莉央、杉澤海斗

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響なのか各地で気象変動が起きている。そして気候変動によって発生する異常気象は世界各地でさまざまな気象災害を引き起こしている。なかでも豪雨など降雨による土壌流出や侵食など土壌劣化は世界で10億haとアジアやアフリカだけでなく広く世界で発生している。降雨による土壌や栄養分の流出及び土壌侵食は植物で覆われていない場所、つまり圃場で発生しやすい。なぜなら降雨が直接地面を打ち、その結果、雨水の浸透が妨げられ表面流去水が発生し、貴重な土壌と栄養分が流亡するからである。私の住む青森県でも傾斜圃場で近年の集中豪雨による土壌流出が問題となっており、耕土流出による地力低下、基盤劣化、河川や海域の汚染が懸念されている。またアフリカなどの乾燥地や半乾燥地帯では、そもそも栄養分が乏しい痩せた大地であり植被も少ない。そのため土壌と貴重な土壌の栄養分を失うことは、食料生産の面から見ても大きな問題である。



図1 圃場の土壌流出

さらに流出土壌は池沼や河川に堆積するため水深が浅くなり、豪雨でなくとも氾濫しやすくなり、インドやコロンビアなど世界各地で住民の暮らしを脅かしている。コンクリートを用いると大規模な堤防を建設することはできるが、製作にコストがかかるうえ、農地に設置した場合、不要になっても容易に取り壊すことができない。したがって安価にそして簡単に製作する技術の開発が必要である。

そこで私たちは、日本の伝統技術である三和土を応用した問題解決に挑戦することにした。三和土とは、土と砂に消石灰とわずかな塩化マグネシウムを混ぜて水で練り、上から叩きつけるだけで土を固化させる技術で、古くから日本家屋や寺社の土間、日本の国技である相撲の土俵などに用いられてきた(図3)。また三和土は、コンクリートより安価な材料で特殊な機械を使わず容易に製作できるほか、コンクリートほど堅牢ではないため、いつでも取り除くことができる利点がある。私は、この技術を応用した簡易堤防を圃場に設置すると土壌流失を抑制できるのではないかと考えた。

2. 材料と方法

2.1 三和土の種類

本研究で使用した三和土は、さまざまな土壌でも適応できるように、組成(物性)が極端に異なる真砂土とベントナイトの2種類とした。真砂土は花崗岩が風化してできた粒径が大きく粘性、吸水性は小さい砂質土壌である。ベントナイトはモンモリロナイトを主成分とした粒径の細かい粘質土壌で、高い粘性と吸水性があり、吸水により膨潤する特徴がある。三和土の基本配合量は体積比で土50%、砂25%、消石灰25%とした。なお粘りを持たせ作業性を高めるために用いる塩化マグネシウムは、内陸部の開発途上国では入手が容易でなく、さらに入手できる日本においても塩化物のため圃場や周囲の塩害に繋がる可能性があるため添加せず、その代わりに作業性と強度を高める植物残渣としてイネの籾殻を三和土の体積に対して1%加えた。また材料を練るために加える水は、手で握ると固まる程度とするが、土の含水量や吸水性によって添加水量は変化する。ベントナイトは吸水性が高く、適度な水分にするため真砂土より添加量を増やした(表2)。

表2 三和土の基本配合量(100ml当たり)

土	砂	消石灰	植物残渣	水
真砂土 50ml	25ml	25ml	1ml	19ml
ベントナイト 50ml	25ml	25ml	1ml	42ml

2.2.1 土堤(簡易堤防)の耐久力の実験

豪雨によって長期間冠水したことを想定し土堤(簡易堤防)の耐久実験を行った。その際、三和土に用いる土は真砂土とベントナイトの2種類とし、土、砂、植物残渣の量は表2のとおりとした。また消石

灰の添加量を表3に示すように段階的に変えて試験区を設けた。実験は供試体（上底×下底×H：5×5.5×3cm）を製作して行った。

表3 試験区の消石灰（Slaked Lime）と水の添加量（100ml 当たり）

試験区	SL-15%	SL-18%	SL-22%	SL-25%	SL-28%	SL-30%
消石灰 ml	15	18	22	25	28	30
水 ml	真砂土：16、ベントナイト：42					

製作工程は、まず材料を120回混ぜ、その後、水と消石灰を加えながら330回練り、さらに紙コップ（上底×下底×H：7×5×8cm）に90g充填して上からさらに100回叩いて40回振動を与えた。1週間放置し、固化したら紙コップから取り出し供試体とした（図4）。そして豪雨災害の最も厳しい冠水状態を想定して蒸留水1Lを入れた水槽（L×W×H：12×9×5cm）に供試体を水没させ、水槽内の水質変化を1週間ごとに分析した（図5）。なお、藻類が発生して水質に影響を与えないよう管理は暗室で行った。

2.2.1 土堤（簡易堤防）の強度を高める実験

三和土で作った土堤（簡易堤防）の耐久性をさらに高めるため有機物を添加し、水質がどのように変化するか探ることで強度を評価した。供試体のベースとなる土は、真砂土とした。また消石灰の添加量は、環境に負荷を与えないようすべて15%添加で統一した。また強度を高めるため添加したものは撥水する油分を含んでいる米ぬか、ダイズ油かす、ナタネ油かすの有機質肥料群、またコーティング機能のある柿のポリフェノールであるタンニンが主成分の柿渋、そして乾燥すると凝固することから有機性接着物質としても利用される亜麻の油である亜麻仁油、さらに柿渋と米ぬかを混合した複合試験区も設けた。試験区及び供試体の組成は表4に示した。

表4 試験区と組成（三和土180ml 当たり）

試験区	真砂土 ml	砂 ml	消石灰 ml	水 ml	添加物 ml
Control	100	50	30	35	なし
米ぬか	100	50	30	35	米ぬか 60ml
ナタネ油粕	100	50	30	40	ナタネ油粕 60ml
ダイズ油粕	100	50	30	66	ダイズ油粕 60ml
柿渋	100	50	30	50	柿渋 6ml
亜麻仁油	100	50	30	35	亜麻仁油 6ml
柿渋+米ぬか	100	50	30	45	柿渋 6ml + 米ぬか 60ml

3. 結果

3.1.1 土堤（簡易堤防）の耐久力の実験

三和土で作る土堤（簡易堤防）の雨に対する耐久性を評価するため、真砂土とベントナイトを用いて、消石灰の添加量を変えた製作した三和土を蒸留水に浸漬して測定した水質変化の傾向を図6に示した。測定の結果、ベントナイトのカルシウムと硬度は、真砂土に比較してとても低かった。ベントナイトは土壌粒子が小さいため表面積が大きく、保持できる陽イオンが真砂土より多い。そのため陽イオンのカルシウム、マグネシウムを真砂土よりも多く吸着したと考えられる。水中での状態を肉眼で観察したところ、真砂土では消石灰15%添加することで十分固化し続けることがわかった。それに対してベントナイトは、消石灰の添加量25%より少ない区では供試体の下部からやや崩れてきた（図7）。固化するのにベントナイトが真砂土より多い消石灰を必要としたのは、ベントナイトの粒子が真砂土より多くのカルシウムを吸着し、三和土の強度を高める主な機構の一つである炭酸カルシウムの生成が妨げられたことが要因と考えられる。

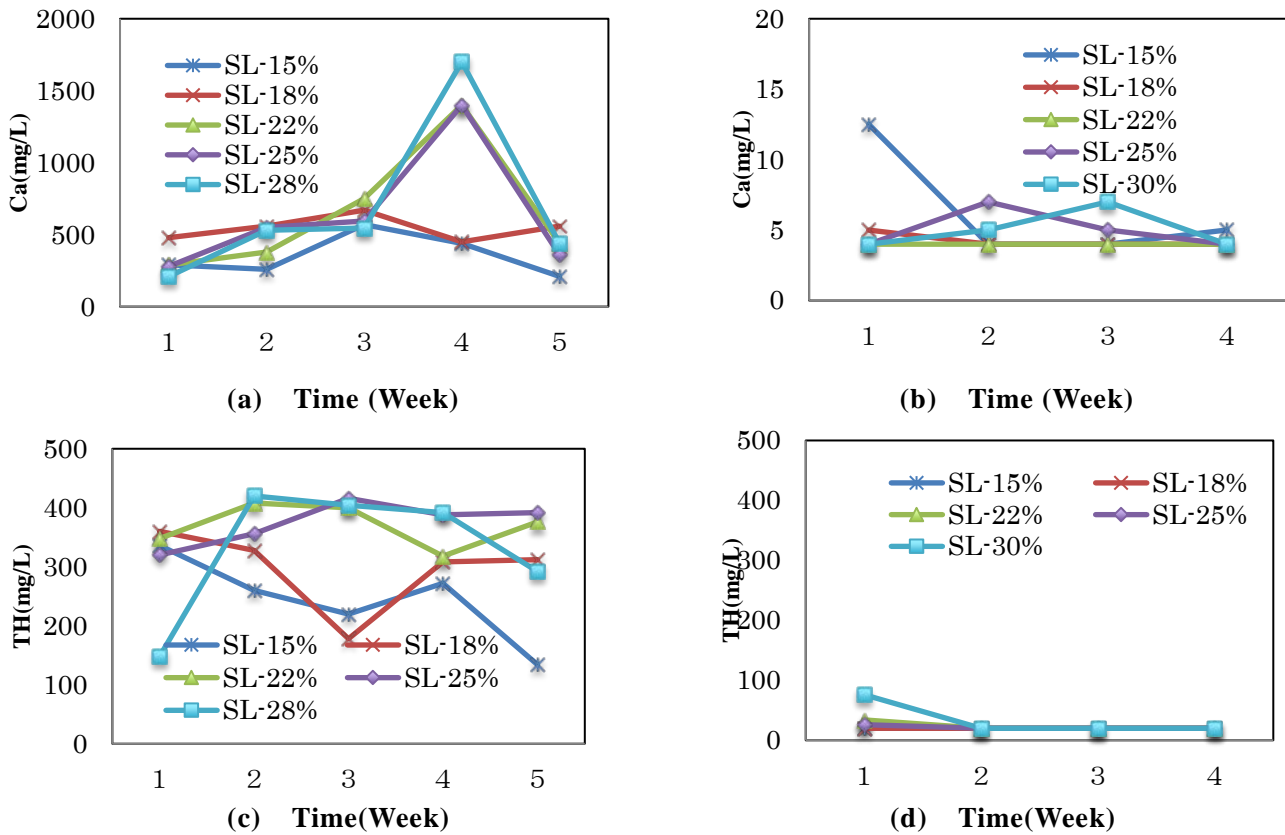


図6 真砂土(a, c)とベントナイト(b, d)を用いた三和土を浸漬した水質の時間変化

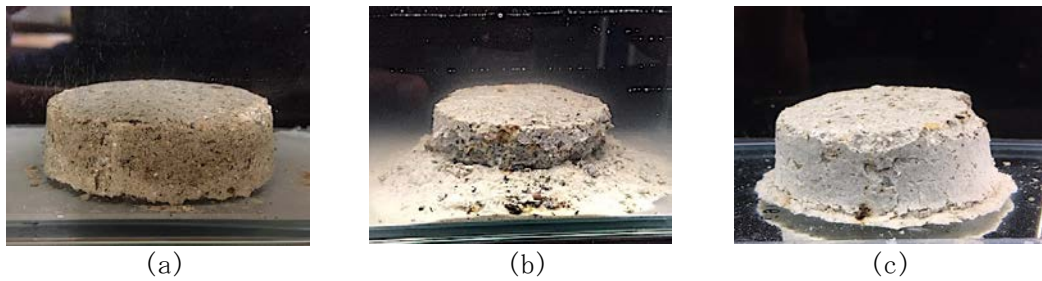


図7 真砂土の三和土 (a)SL-15%、ベントナイトの三和土(b)SL-15%、(C)SL-28%

3.1.2 総合評価

実験の結果、真砂土とベントナイトという両極端の性質を持つ土壤でも、材料の体積に対して真砂土は消石灰、水分ともに少なめ、ベントナイトは消石灰、水分ともに多くすることで、長期間冠水状態という厳しい環境においても十分な耐久性を持たせられることを明らかにできた。世界のほとんどの土壤の陽イオン交換容量は真砂土とベントナイトの範囲内なので、これを応用すると耕地の土壤流出や河川の氾濫対策のための土堤（簡易堤防）の製作に応用できると考えられる。しかし消石灰を多く使うとEC（電気伝導度）が高くなるので、環境と強度に配慮した添加量が求められる。

3.2.1 土堤（簡易堤防）の強度を高める実験

3.1.1の土堤の耐久力実験で、真砂土に消石灰15%添加することで5週間もの長期間、水中でも崩壊せず原型を保てることがわかった。しかし消石灰を添加するため水質はEC（電気伝導度）が高くなることが考えられる。ECが長期間、0.3mS/cm以上になると水質汚染に繋がってくるため抑える必要がある。そこで油分を含む有機質肥料や三和土をコーティングできる柿渋や亜麻仁油を加えて耐久性が高まるのか水質の変化を探った。（図8）

実験の結果、強度対策を講じなかったControlでは浸漬期間が長くなると、徐々にECが高くなった。しかし油分を含む有機質肥料を添加した区はControlのほぼ半分であった。これは油分により三和土に

水が染み込むのを防いでいるものと考えられる。また柿渋、亜麻仁油を加えると EC0.2mS/cm 前後と Control の15%以下と極めて低くなった。さらに Ca も EC と同じような傾向がみられ、特に米ぬか、柿渋、亜麻仁油区で濃度が低かった。これは柿渋ではタンニンや亜麻仁油により炭酸カルシウムなどが内部外部でコーティングされ、EC の上昇を抑制したのと考えられる。硬度 (TH) では有機質肥料を添加した区で多い傾向を示した。これは米ぬか、油粕類は Mg を多く含む有機質肥料であるためと考えられる。また濁度では、有機肥料を添加した区で高くなっている。液体の柿渋と亜麻仁油と違い、作物を搾った油粕は油分の分離が次第に進み水質を大きく変化させるほどではないが水を濁らせたものと考えられる。

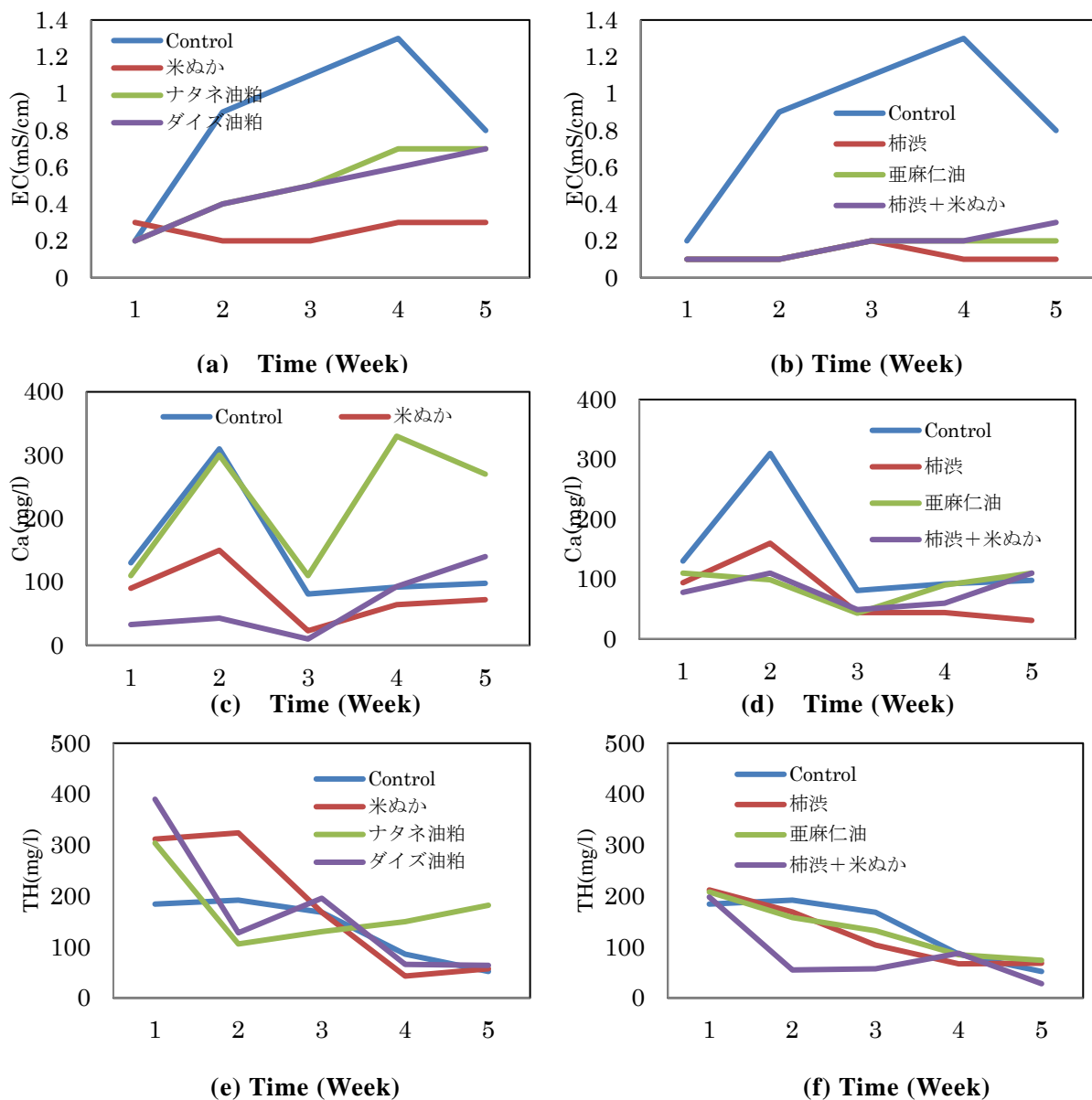
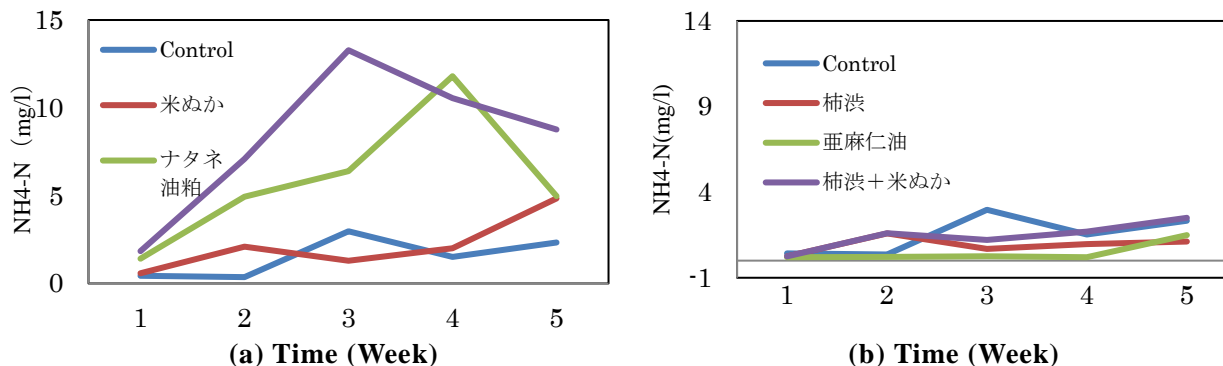


図8 有機質肥料を添加した三和土 (a, c, e, g) と柿渋、亜麻仁油を添加した三和土 (b, d, f, h) を浸漬した水質の時間変化。なお比較しやすくするためどちらにも無添加の Control を表示している。



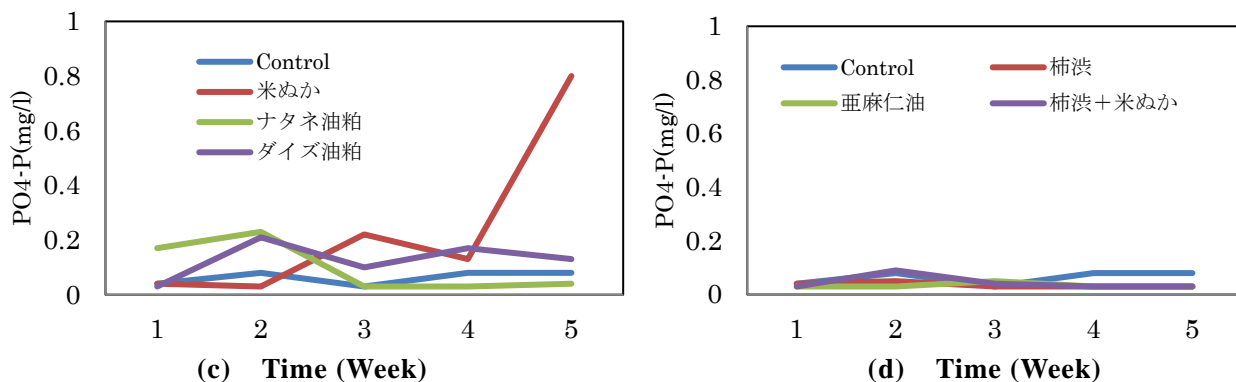


図9 有機質肥料を添加した三和土(a, c, e, g)と柿渋、亜麻仁油を添加した三和土(b, d, f, h)を浸漬したアンモニア態窒素とリン酸態リン濃度の時間変化。なお比較しやすくするためどちらにも無添加のControlを表示している。

3.2.2 総合評価

実験の結果、真砂土ベースの三和土に油分を含んだ有機質肥料、柿渋、亜麻仁油を添加しても5週間にわたり硬化し続けることがわかった(図10)。また柿渋及び亜麻仁油をわずか3%添加するだけで、内部成分の溶出を防ぐことができることも明らかにできた。これは柿渋及び亜麻仁油を添加した三和土で土堤(簡易堤防)を製作すると、降雨によって長期間浸漬状態になってもECが高くなることはなく、河川や湖沼の水環境に悪影響を及ぼすことを抑制できることを意味する。また有機質肥料を添加すると長期間にわたって栄養分が溶出することがわかった。この土堤を圃場に設置すると土壌流出抑制と緩効性肥料の機能を持った土堤(簡易堤防)となることがわかった。以上のことから用途、設置場所に応じて添加物を変えることで長期間使用可能な土堤(簡易堤防)を製作できることがわかった。

4. 考察

日本では頻発する集中豪雨による水害が毎年のように発生している。また農地ではこのような大量な降雨でなくても土壌と栄養分が流亡してしまう。この状態を放置しておくとし細かい水路であるリル侵食部分に常に雨が流れ込み地形を大きく変えてしまうガリー侵食につながる。このような侵食が発生すると農地はもちろん、居住地域も失ってしまう。そのためには流出を防ぐための堤防が必要である。しかし一般的に堤防は海岸や川沿いに設置されるもので、農地に製作されることは少ない。なぜならば農地にコンクリート製の堤防を製作すると巨額なコストがかかる。また作付けや用途変更になった場合、すぐに壊すことができないからである。今回私たちが考案した日本古来の土壌固化技術である三和土を用いた土堤は、土と砂、消石灰があれば誰でもどこでも安価に簡単に作る事ができる。また柿渋や亜麻仁油をわずか3%添加すると土堤全体をコーティングできるためCaやMgの溶出を抑制でき、水質汚染に繋がるECや栄養塩濃度の上昇も抑制できることを明らかにできた。土壌流出による河川や湖沼の氾濫が発生している開発途上国や新興国では重い石を広い圃場に運び、石堤を作って対策している。しかし重労働のためなかなか対策が進まないのが現状である。したがって現地の土でその場で簡単に簡易堤防を製作できるこの技術は、とても有意義だと思われる。本校でも土壌流出が起きている圃場がある。現在、私たちはこの技術を用いた圃場の保全活動に取り組み始めている(図11)。現在、この技術を普及させるために英語の製作マニュアルを世界に公開している。また本来であれば今春、タイやマレーシアなどで現地試験を行う計画だったが新型コロナウイルスの感染拡大によって休止となってしまった。コロナが収束したらぜひ後輩たちに普及に取り組んでもらいたい。



(図) 名久井農高での簡易堤防作り