

7. 環境貢献技術の創出

7.1 環境対策に関する研究活動等

(1) シロアリの多様性を利用した森林環境評価

大学院創成科学研究科（農学系学域） 教授 竹松 葉子

森林におけるシロアリの役割

「地球温暖化」と「生物多様性の減少」は、私たちが抱える大きな環境問題のなかでも注目されています。この2つの問題に深く関わっているのが「熱帯雨林の存続」です。なぜならば、熱帯雨林は、地球上の主要な二酸化炭素吸収源であり、陸上生物の約半数が生息するともいわれているからです。健全な熱帯雨林が存続するためには、森林の中で「生産者」「消費者」「分解者」へと物質循環が滞りなく行なわれていることが重要です。私の研究は、このなかでも「分解者」である昆虫「シロアリ」の多様性と森林環境の関わりを調べることです。特に、シロアリの多様性（つまり、どのグループのシロアリがどのくらい生息しているか？）を利用して、森林環境の豊かさを評価しています。

なぜ、シロアリは森林環境を評価する上で、効果的なツールなのでしょう？家を食べてしまうために日本では家屋害虫として有名なシロアリですが、森林生態系の物質循環の中で「分解者」として重要な役割を果たしています。シロアリの食性は、大きく材食性、菌食性、土壌食性と3つに分けられ、食性の違いにより生態系における働きが異なっているため、このグループ分けは「機能群」と呼ばれており、ほとんどのシロアリがどの機能群に属するかは明らかになっています。特に土壌食性シロアリは土壌中に溶け込んでいる栄養分を利用するために、森林が健全な物質循環で栄養にあふれていないと生息できず、餌として利用できる資源がなくなったり、乾燥して生息するのに不適な環境になったとたんに、その場所から姿を消します。そのため、森林環境の悪化を即座に反映する指標生物と言えます。

さらに、世界中で利用されている共通の定量的多様性調査法が開発されていることが理由として挙げられます。この手法は、「100mトランセクト法」と呼ばれ、林床に100m×2mのコドラートを作成し、1m×5mの合計40区画で区切り、一人の調査者が1区画を30分間決められたルーチンでシロアリの採集を行うというものです。1つのトランセクトで何種のシロアリが採集され、それぞれがどの機能群に属し、それぞれの密度がどのくらいであったかを比較します。

ボルネオのアカシアプランテーションにおけるシロアリの多様性変化

ボルネオ島には豊かな熱帯雨林が残っています。しかし、それも年々伐採が進み、様々なプランテーションへと転換されています。熱帯雨林と転換後のプランテーションではシロアリの多様性にどのような違いがあるのか？また、プランテーション転換直後はシロアリの多様性は低くなることが考えられるが、それはどのくらいの速度で回復するのかを明らかにするために、ボルネオ島のマレーシア・サバ州（図7-1）のアカシアプランテーションにおいてシロアリの多様性調査を行いました。熱帯原生林（図7-2）、原生林伐採後の更地（図7-3）、1年～6年までの若齢のアカシア林および25年～30年経過したアカシア放置林（図7-4）でシロアリの多様性を調べた結果、原生林でのシロアリ種数は圧倒的に多く、特に土壌食性シロアリが多いことが特徴的でした。一方で、伐採後の更地ではシロアリは全く採集されず、アカシア植林後はシロアリの生息は確認されたものの、原生林と比べて非常に少なく、さらに植林後25-30年経過してもシロアリ多様性は低いままであることがわかりました。つまり、何百年と作られてきた熱帯雨林は一度伐採してしまうと、簡単には元に戻らないことがわかりました。



図7-1 東南アジア



図7-2 熱帯雨林



図7-3 熱帯雨林伐採直後



図7-4 アカシア植林地

7. 環境貢献技術の創出

7.1 環境対策に関する研究活動等

(2) 光エネルギーから効率よく水素を得るために

大学院創成科学研究科（工学系学域） 助教（特命） 三宅 秀明

カーボンナノチューブを色素で染めた新しい光触媒

環境に優しいエネルギー源の確保は、現在人類が抱える最大の課題の一つと言えます。その課題解決に貢献すると期待されているのが光触媒による水素製造です。光触媒というと汚れを防ぐ目的で使用されることも多いですが、本稿の光触媒は目的が異なります。光触媒によって水が分解されて水素と酸素が生成しますが、「水」よりも「水素と酸素」の方が高エネルギー物質であることがポイントです。したがって、エネルギーに着目すると「光エネルギー」から「水素エネルギー」への変換過程と見なすことができます（図7-5）。「水素エネルギー」は、燃焼により「熱エネルギー」へ、燃料電池により「電気エネルギー」へと再度変換が可能である上に、比較的貯蔵しやすいというメリットを持ちます。また、このサイクルに必要なものは光と水のみであるため、理想的なエネルギー活用システムと言えます。

ただし、今すぐ実現する話ではありません。現状では太陽光エネルギーのほんの一部しか利用できないため、得られる水素が少なすぎるのです。そこで我々は、水素の生成効率を向上させるための研究を行っています。特に、岡山大学で開発されたカーボンナノチューブ光触媒の効率向上に取り組んでいます。我々は、カーボンナノチューブの内部空間に色素を導入する（＝染める）ことで、光触媒によって得られる水素の量が増えることを世界で初めて明らかにしました（図7-6）。特に、これまで困難だった波長の長い光に対する応答性が格段に向上しました。水素の量子収率は、波長550 nmの光（緑色）では量子7.5%に達しました。また、さらに長波長となる650 nmの光（赤色）でも1.4%を記録し、色素を用いない場合に比べて活性が120倍に向上しました。色素による光吸収を利用するため、色素のデザインによって更なる効率改善も期待できます。

これらの研究は、岡山大学の高口准教授、田嶋講師らのグループと共同で行いました。また、地域イノベーション戦略支援プログラムの一環として、産学連携にも注力しました。実際に、地域企業である大阪新薬株式会社の協力により、色素を製品化することができました。得られた成果は大学間の共同研究や地域の産学連携の賜物であり、関連の皆様にご心より感謝を申し上げます。

太陽光による水素製造は、大きな可能性を秘めています。発展途上の技術ではあるものの、着実に進歩しています。本研究も多くの方々の努力が結実したのですが、このような連携がさらに拡大・深化すれば、飛躍的に発展すると期待されます。地域イノベーション戦略支援プログラムの終了により本研究は一区切りとなりましたが、光触媒技術が益々進歩し、環境に優しいエネルギーサイクルが実現することを祈ります。

プロジェクト紹介URL

http://www.yamaguchi-u.ac.jp/library/user_data/upload/File/topics/2017/18032201.pdf

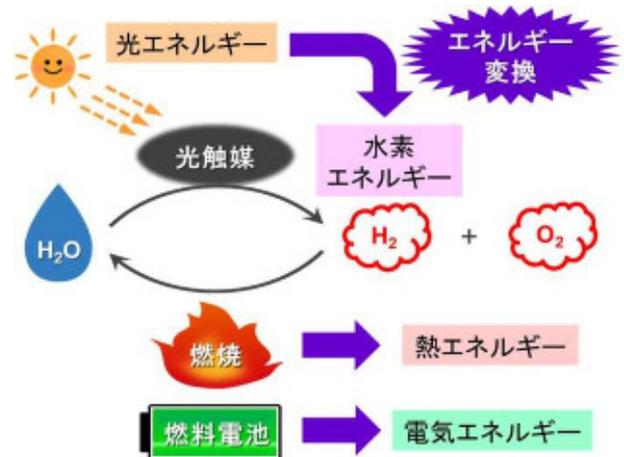


図7-5 水素エネルギーの利活用

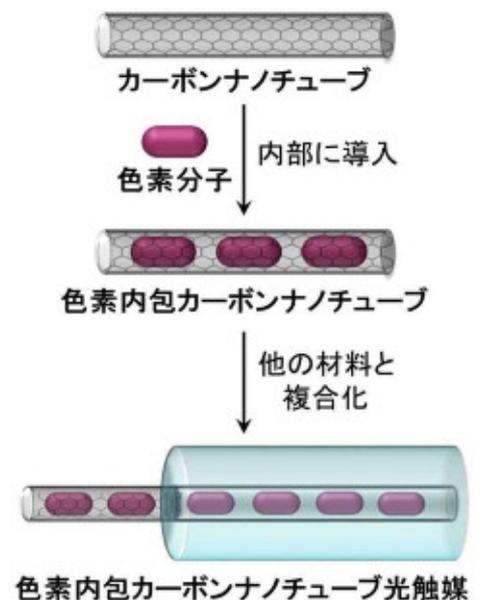


図7-6 色素内包型光触媒の調製

7.2 環境対策に関する修士論文・卒業論文

修士論文

大学院創成科学研究科 理学系学域 地球圏生命物質科学系専攻 山崎 友香理

水熱合成法による酸化チタンナノロッドの合成と水の光触媒的酸化反応に対する活性評価

酸化チタン光触媒は、太陽光を利用した環境汚染物質の分解・無害化や水の水素と酸素への分解に利用できる光機能性材料である。その反応過程を模式的に（図7-10）に表した。酸化チタンが光を吸収すると、電子とホールが生成し、これらの電荷が光触媒の表面に到達することで酸化還元反応が進行する。このとき、酸化チタンの内部あるいは表面で電荷が再結合すると反応は進行しない。したがって、光触媒の活性を向上させるためには電荷再結合を抑制することが重要な課題となる。

本研究では、高活性な酸化チタン光触媒を合成することを目的として、ナノロッド型の酸化チタンを合成し、水の酸化反応に利用した。グリコール酸などの有機物を構造指向剤として添加することで、従来のナノ粒子とは異なるナノロッド型の酸化チタンを合成することができた。（図7-11）結果として、ナノロッドはナノ粒子よりも励起電子の寿命が長いこと、内部での電荷再結合は抑制されるが、表面では再結合が進みやすいことを明らかにした。さらに、白金担持により表面での再結合を抑制することで、光触媒活性を向上させることに成功した。白金は高価であるため、より安価な物質を用いてナノロッドの表面再結合を抑制することができれば、環境汚染物質の分解や水分解反応に役立つ高活性な光触媒が開発できると期待される。

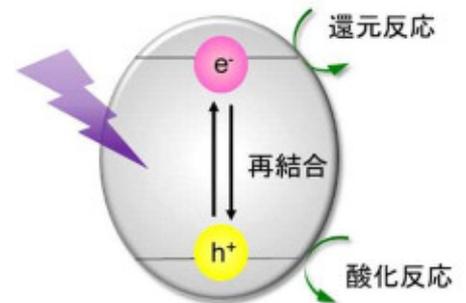


図7-10 光触媒の反応構成

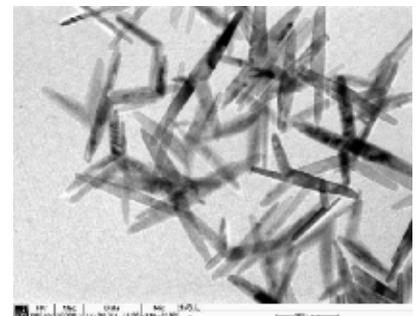


図7-11 酸化チタンナノロッド

大学院創成科学研究科 理学系学域URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

修士論文

大学院創成科学研究科 工学系学域 建設環境系専攻 須江 健太郎

酸化マグネシウムと第一鉄塩を用いたセレン（VI）含有汚染土壌の不溶化処理

人為由来土壌汚染の報告件数は年々増加傾向にあり、さらに道路・トンネル・河川工事等の際に大量発生した自然由来汚染土壌も増加している。しかし、全ての汚染土壌を浄化処理することは処理コストと処理時間の両観点から困難である。このことから、迅速かつ低コストに汚染物質の溶出を防止することができる不溶化処理が着目されている。

本研究ではこれまで鉛、カドミウム、ヒ素（V）、フッ素を対象として酸化マグネシウム（図7-12）を用いた不溶化処理に関する知見を蓄積してきた。しかし、酸化マグネシウムではセレン（VI）の不溶化は困難である。そのため、水溶性が高いセレン（VI）を還元することを目的として酸化マグネシウムに第一鉄塩を混合し、セレン（VI）を含む複合汚染土壌にも対応可能な不溶化剤の開発およびそのメカニズムの解明を試みた。

本研究の結果、人為由来土壌汚染と自然由来土壌（掘削ズリ）とでは第一鉄塩添加の効果は異なることが分かった。まず、人為由来汚染土壌の場合は、第一鉄塩の添加はセレン（VI）の不溶化効果に正の影響を及ぼした。これは、酸化マグネシウムのみでは不溶化できないセレン（VI）を第一鉄イオンが還元したことが要因である。実際、X線光電子分光（XPS）によるセレンの酸化数の測定により、セレンが6価から0価あるいは-2価へと還元されていることが確認できた。また、第一鉄イオンの最終生成物はマグネタイト（ Fe_3O_4 ）であった。その一方で、自然由来土壌の場合は、第一鉄塩の添加はセレン（VI）の不溶化効果に負の影響を与えることが分かった。そしてその理由は、第一鉄塩を添加することによるpHの低下に伴うセレン鉱物の酸化・溶解の促進が要因であった。これらの結果から、セレン含有汚染土壌の不溶化処理を行う際には、汚染土壌の由来あるいはセレンの存在形態に関する情報を踏まえて、適切な不溶化剤を選択する必要があると考えられる。

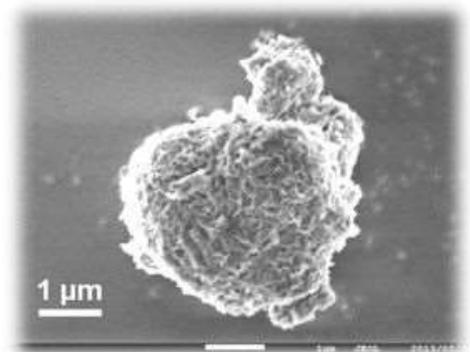


図7-12 酸化マグネシウム

大学院創成科学研究科 工学系学域URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

7.2 環境対策に関する修士論文・卒業論文

修士論文

大学院創成科学研究科 工学系学域 建設環境系専攻 香川 拓輝

熱帯沿岸泥炭地における海岸侵食と泥炭地崩壊現象に関する研究

インドネシア共和国は、総面積2250万haの広大な泥炭地の面積を有する。泥炭地は二酸化炭素の貯蔵に重要な役割を果たしており、泥炭火災や生物酸化による二酸化炭素排出量の見地から熱帯泥炭地の保全が重要視されている。一方で現在、インドネシア共和国リアウ州では、海岸侵食により年間約160haの面積が消失している。これを詳しく観察すると、沿岸部での海岸侵食に加え泥炭地崩壊現象の発生していることが明らかになった。(図7-13・14) 従って継続的に海洋中へ有機質である泥炭が流出していることになる。

泥炭の海洋への流出は、すなわち陸域の炭素の流出を意味する。現在泥炭地の生物的酸化に伴う鉛直方向のフラックスについては、研究が盛んに行われているが、海岸侵食や泥炭地崩壊現象による水平方向の炭素の輸送については、ほとんど明らかになっていない。

海岸侵食と泥炭地崩壊現象による粒子状炭素の流出量を衛星画像と現地調査結果から解析した結果、インドネシア共和国のリアウ州全体で、海岸侵食による要因では年間約31万トンの炭素、そのうちブナリス島においては泥炭地崩壊現象による要因だけで海岸線1mあたり年間約10トンの炭素が流出していると推定された。



図7-13 海岸侵食の様



図7-14 泥炭地崩壊現象

大学院創成科学研究科 工学系学域URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

修士論文

大学院創成科学研究科 農学系学域 農学系専攻 織田 康太郎

未知セルラーゼ遺伝子取得を目指した土壌酵素抽出法の検討

セルロースは地球上で最も豊富なバイオマスであり、その多くが未利用の現状にあります。しかし微生物が生産する加水分解酵素・セルラーゼを作用させることで、グルコースやセロビオース等の発酵可能な糖へと分解できます。実際に糸状菌セルラーゼと醸造酵母を用いてバイオエタノールを生産しようとする試みもなされているが、化石燃料と比較してコスト面等で不利な技術的課題が残されている。

他方、環境中に棲息する微生物のうち、実験室で培養できたものは全体の0.1%程度であり、残りの99%以上の種が実験室での培養が困難な種(培養困難種)であることが分かってきた。これらの中には従来よりも高活性なセルラーゼが見つかるかと期待され、セルロースバイオマスの資源化ならびに持続可能社会の構築にむけて大きく貢献できる研究であると考えられる。

そこで本修士論文研究では培養困難種も含めて土壌中に存在するセルラーゼ酵素を一括抽出し、その中に高活性なものを見つけることができないかに挑戦した。実験の結果、未知セルラーゼの候補と期待されるタンパク質バンドを見つけることができた。(図7-15・16)

今後、当該タンパク質分子の生化学的特徴を詳しく解析していくことが必要である。



図7-15 土壌酵素抽出の様子



図7-16 SDS-PAGE分析結果

大学院創成科学研究科 農学系学域URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

7.2 環境対策に関する修士論文・卒業論文

修士論文

大学院創成科学研究科 農学系学域 農学系専攻 田島 みゆき

大分県別府市で頻発する滑昇霧の消散条件に関する事例解析

大分県別府市では霧による通行止めが頻繁に発生し、国土交通省がまとめた「高速道路会社6社の要因別通行止め時間ワーストランキング（平成27年度）」では10位までを大分自動車道と宇佐別府道路が占めている。高速道路の通行止めは地域住民や流通だけではなく観光客や地域経済にも大きな影響を与えており、通行止め時間の削減に加え、通行止め解除の正確な時間予測、つまり霧の正確な消散予測も求められている。

別府市で頻発する霧は暖かく湿った空気が山に沿って上昇することで冷やされてできる滑昇霧である。滑昇霧の発生要因である湿潤空気や、上昇風の有無などは地形により左右されるため消散予測の精度向上は容易ではない。そこで本研究では、消散予測の精度向上に向けた基礎的な知見の取得のためのドローンを用いた霧粒子直接観測手法の確立、及び消散条件の解明を目的とした現地気象観測データ解析を行った。

霧粒子の直接観測には、本来気球にとりつけて飛ばすことで雲粒子の直接観測をする雲粒子ゾンデHYVIS (Murakami and Matsuo,1990)を地上設置型に改造し、ドローンに搭載して霧粒子観測を行った。(図7-17) HYVISをドローンに搭載しての観測は初の試みであるが、4事例のデータを取得することができた。解析の結果、滑昇霧は鉛直方向で様ではなく短時間で鉛直プロファイルが大きく変化することが明らかになった。さらに、霧が原因で大分自動車道が通行止めになった事例について、詳細な気象データから霧の消散条件を解析した結果、霧の消散には①上昇する空気塊の水蒸気量が減少すること、または②湿潤な空気塊の流入が途絶える、つまり風向の変化及び風速が弱くなることが条件であることが明らかになった。



図7-17 ドローンによる霧粒子観測

大学院創成科学研究科 農学系学域URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

卒業論文

農学部 生物資源環境科学科 徳久 晶大

岩国市尾津地区周辺のレンコン圃場における カモ類の環境選択

近年、山口県岩国市尾津地区のレンコン圃場において、カモ類による食害が発生している。本研究は、レンコン圃場におけるカモ類の滞在場所を調査し、その結果を用いた効果的な防除方法を構築することを目的とした。(図7-18)

カモ類の滞在場所の調査としてレンコン圃場に赴き、日中と夜間に圃場を徒歩で巡回しカモの居場所を地図上に記録した。また、レンコン圃場の状況と水位、照度を地図上に記録し、カモ類のデータとあわせてモデル選択を行った。

モデル選択の結果、日中のデータでは、広い面積で、水がよく湛水された、鋤いた、掘った状況の圃場で11、1月頃にカモの滞在が起きる可能性が高いと示された。夜間のデータでは、広い面積で、水がよく湛水された、植栽後、鋤いた状況の圃場で10、11月頃にカモの滞在が起きる可能性が高いと示された。また、照度は強弱に関わらず、カモの滞在にあまり影響しないという結果が得られた。

本研究で得られたモデルより、日中・夜間どちらでも水位がカモ類の滞在に正に働くと示唆されたため、必要時以外は湛水しないことや、作付け後はビニールマルチを用いた物理的防除を行うことが必要である。また、カモが滞在し始めた後の防除法の一つとして、水上ドローンでの追い払いを行うことが防除策の一つであると考えられる。



図7-18 レンコン圃場で見られたカモ類

農学部URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

7.2 環境対策に関する修士論文・卒業論文

卒業論文

農学部 生物機能科学科 前田 夏実

CDU施肥と特異的に集積されるCDU分解菌を利用した アブラナ科ネコブ病の生態学的防除

アブラナ科植物のネコブ病は、ネコブカビ病菌、Plasmodiophora brassicaeという原生動物の感染によって引き起こされる。この病原菌は、土壤中で数年間感染力を維持する休眠胞子を形成する。休眠胞子は、宿主植物の根の分泌物を感知して発芽し、一次遊走子として宿主の根毛に感染する。種々の防除法が検討されているが、決定的ではない。本研究は、CDUと呼ばれる化学合成緩効性肥料を施用したときに、特異的に集積される土壌バクテリア群（CDU分解菌群）による、ネコブ病に対する生態学的防除の可能性を明らかにしたものである。（図7-19）

これまでに、CDU施用によりCDU分解菌が集積されると、ネコブカビ病菌の生活環、特に、休眠胞子および休眠胞子の発芽から根毛感染に至る過程で殺菌作用を示す可能性が当研究室で明らかにされてきた。

本年は山口県農林総合研究センターの協力の下、栽培試験を行い、CDU系肥料の適切な施用により、農薬散布に匹敵する防除効果が得られることを確認した。施肥のみで防除が実現できれば、減農薬栽培が可能になる。



図7-19 白濁したCDUを強力に分解するCDU分解菌

農学部URL <http://www.gsti.yamaguchi-u.ac.jp/department/science.html>

環境対策に関する修士論文・卒業論文の掲載について

環境貢献技術の創出について、学生の研究活動を公表するものとして今回から環境対策に関する修士論文・卒業論文の要旨を掲載する運びとなりました。

題材としては、「環境目標と行動計画」に基づき、地球温暖化に対する緩和策として省資源・省エネルギー及び再生可能エネルギーの開発、廃棄物抑制、気候変動による自然災害への適応策として防災・水資源（循環・効率化）・食（農業・漁業）・健康（伝染病・熱中症予防）等の脆弱性改善、環境保全、生物多様性の保全、生物資源の持続可能な利用などの研究、教育、地域貢献等について募集しました。

本学を巣立って行く学生達が、学生生活の中で培ってきた研究成果として、環境問題にどのように取り組み、何を学ぶことができたのか、それぞれの読者の立場で関心を持ってご覧頂きたいと思ひます。



7.3 環境対策に関する教育

山口大学では共通教育科目において基礎知識を学びます。その上で専門課程において様々な環境に関する授業を学ぶことにより、持続的発展可能な社会の構築に貢献できる創造性豊かな人材の育成を目的として開講しております。

| 学部・大学院等 | 授 業 科 目 |
|-----------------|---|
| 共通教育科目 | 環境と人間 |
| 教育学部 | 保育内容環境、環境と生物、野外運動特習Ⅱ、国際理解教育論、家庭経営学（家族関係学及び家庭経済学を含む）、経済概論、公衆衛生学、住生活科学概論 |
| 経済学部 | 環境経済学、国際協力論、エコ・ツーリズム論 |
| 理学部 | 高分子化学、分析化学実験、有機化学実験、地球環境学Ⅱ |
| 医学部 | 環境・予防医学ユニット、生活習慣病・疫学・地域医療、衛生統計・保健医療学、社会医学基本実習、社会医学課題実習、環境衛生学、環境衛生学実習 |
| 工学部 | 環境微生物学、環境低負荷物質論、環境保全工学、環境保全工学演習、港湾工学、循環型社会システム論、環境プロセス論及び演習、廃棄物処理工学、環境倫理・法規、環境ビジネス論、建設環境工学、環境分析化学、化学物質リスク論、環境概論、環境管理論、環境浄化技術Ⅱ |
| 農学部 | 環境化学、環境微生物学、土壌生化学実験、環境生化学実験、生産土壌学、植物栄養・肥料学、基礎土壌学、環境物理学、環境計測学、フィールド演習、農業気象学、環境植物学実験、地球環境情報科学特別講義、食品衛生学 |
| 共同獣医学部 | 獣医公衆衛生学、環境衛生学 |
| 国際総合科学部 | 生物多様性Ⅰ、生物多様性Ⅱ、バイオテクノロジーⅠ、バイオテクノロジーⅡ、地球環境と持続可能性、生態環境論、環境経済論 |
| 大学院経済学研究科 | 環境経済学研究、アジア環境政策研究 |
| 大学院創成科学研究科（工学系） | 環境保全工学特論、地域情報システム工学、大気・土壌保全工学特論、都市代謝工学特論 |
| 大学院創成科学研究科（農学系） | 環境植物学特論、フィールド科学特論、植物生態科学特論、微生物機能科学特論 |
| 大学院創成科学研究科（理学系） | 地球圏生命物質科学系特論 |
| 大学院技術経営研究科 | グリーンMOT特論 |

学部・大学院等の授業科目の詳細は下記をクリック

<http://ds.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~fms-01/kankyo/kankyo2019/jyugyakamoku2019.pdf>