

令和元年6月6日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02993

研究課題名(和文)メガシティにおける生物多様性減少メカニズム—機能群多様性減少の影響評価

研究課題名(英文)Species and functional diversity loss in paddy fields around a megacity

研究代表者

丑丸 敦史(Ushimaru, Atushi)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：70399327

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、阪神都市圏の都市域から里山域にかけて水田の畦畔を対象に、維管束植物や植食性昆虫、その種間相互作用ネットワークを調べ、都市化の種・機能群多様性やネットワークの構造の影響を解析した。結果、都市水田で調査した分類群の種多様性減少が確認された。この減少は、水田周囲の生育地減少(周囲1kmの農地減少)、景観非接続(最近接二次林との距離増加)や生育地の質的变化(土壌pHや草刈りの増加)等によって引き起こされていた。送粉ネットワークは都市化に伴い、構造が変化し、野生植物群集への送粉サービスが低下していた。都市化は高い生物多様性を涵養する水田生態系へ多大な影響を与えてきたことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モンスーンアジア地域では、都市開発が進行する平野部は元々広範囲に水田利用されてきた。そのため都市化は高い生物多様性を涵養する水田生態系へ多大な影響を与えてきたと考えられるが、その影響の定量的評価はこれまでなされてなかった。本研究は、メガシティでありながら、未だに都市部に残存する水田が見られる阪神地区を調べ、都市化は残った水田生態系の生物多様性やその生態系機能を低下させてしまっていることを明らかにした。モンスーンアジア域では、今後、人口や範囲が拡大する都市が多く存在している。そのような都市が、今後、生物多様性と共生する都市となるために役立てられる知見を多く得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The study examined the impacts of urbanization on semi-natural grassland plant and herbivore diversity and interactions within paddy ecosystems around a megacity area, the Osaka-Kobe metropolitan area, one of the Monsoon Asian megacities. We found that both plant and herbivore diversity decreased by habitat loss, fragmentation, split and degradation owing to urbanization in this area. Changes in soil pH facilitated the establishment of native and exotic annual plants in urbanized semi-natural grasslands. Habitat fragmentation, split, and degradation have decreased perennial species richness, leading to loss of some butterflies and orthopterans. Plant-pollinator networks of more urbanized grasslands had lower plant and pollinator richness and were more generalized than those of rural grasslands. Thus, urbanization has decreased biodiversity and the ecosystem functions in very species-rich paddy ecosystems in the Monsoon Asian region.

研究分野：都市生態学

キーワード：都市化 生物多様性 水田畦畔

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、世界人口の半数が都市で生活し、さらに毎年約 6.7 千万人の都市流入が続いている。これを背景とし、都市化による生物多様性の減少が欧州、北米、豪州を中心に報告されている。モンスーンアジア地域は人口 1 千万人を超える都市圏（メガシティ）の集中地域であるにも関わらず、都市化の多様性への影響評価が大きく遅れている。この地域では、都市開発が進行する平野部は元々広範囲に水田利用されてきた。そのため都市化は高い生物多様性を涵養する水田生態系へ多大な影響を与えてきたと考えられるが、その影響の定量的評価はなされていない。

また近年、機能群多様性の減少は、機能群内の種多様性の減少よりも群集への影響が強いことが多くの生態系で示され始めたが、都市生態系における機能群多様性の減少や、その群集構造への影響に関する研究は世界的にも進んでおらず、実態把握は急務である。

### 2. 研究の目的

この申請課題では、以上の背景を受け、日本におけるメガシティの一つである阪神地区の水田畦畔の半自然草地の生態系を対象に、以下の三つの具体的な問いをたて、その検証に取り組む。

(1) 阪神地区の都市化は畦畔の植物・植食性昆虫の機能群多様性を減少させているのか？

第一課題では、里山から都市まで多地点の水田域を対象として、畦畔草地の植物と植食者（送粉者、チョウ・バッタ）を調査し、それぞれの種・機能群多様性と周囲の人工地の増加面積との相関を定量的に解析する。

(2) 都市化はどのようなプロセスで畦畔の植物と植食性昆虫の多様性を減少させるのか？

第二課題では、植物の多様性減少メカニズムを解明する手がかりとして、まず都市化に伴う環境変化を生息・生育地の縮小、分断化、異なる景観要素の接続性の消失（以後、景観非接続）、生息・生育地の質的变化（富栄養化等）、外来種の侵入の 5 項目に整理する。さらに、生活史などの植物の種特性（機能）の差に着目し、上記 5 要因のそれぞれから受ける影響の差を解明する。

(3) 都市化は水田畦畔上の植物-植食性昆虫の種間相互作用ネットワークを変えうるのか？

送粉昆虫やバッタ類は本来ジェネラリスト性が高いものが多いと考えられているが、都市化による植物相の変化で本来利用する植物が失われたときに、存在できないのか、また利用する植物の種や機能群（食草ニッチ）を変えて存在するのか解析し、都市での植物減少が植物-植食性昆虫の相互作用ネットワークに与える影響を評価する。バッタの食草の変化は、消化管残存物 DNA 分析で解明する。

### 3. 研究の方法

兵庫県東南部の里山城-都市域に 20 調査地（送粉者調査は 15 調査地）を設定した。各調査地では畦畔上に 3 本の 2m×30m ベルト調査区（合計 300m<sup>2</sup>）を設定し、植生調査、スウィーピング法、観察記録により植物、チョウ、バッタ相を年 4 回、定量的に記録した。送粉者調査では、この調査区を含む 1000m<sup>2</sup> の畦畔を調査区として、まず開花虫媒種の種名・開花量を記録し、繁殖期間に触れた訪花者を送粉者として見つけ取り法で年 9 回、記録した。野外調査は基本的に 4-12 月の間に行った。このとき、各調査地で広く分布する在来・外来植物種の開花後の柱頭を採取し、研究室で付着花粉数を計数し、各調査地での各種の送粉成功を調査した。

植生調査では、同時に畦畔の環境・植生要因（土壌水分、土壌 pH、草刈り頻度、植生高等）を測定した。また周囲の約 60 年前および現代の航空写真を国土地理院のアーカイブから入手し、GIS を用いて調査地周囲景観の土地利用（農地、森林、人工地、その他）を分類し、定量化した。

またバッタの消化管残存物 DNA 分析では、サンプルしたバッタ数種について各 5 個体から解剖して消化管に残ったものを回収した。そのサンプルから DNA 抽出をした。その一部について、TrnH-psbA、ITS、rbcL の領域を PCR 増幅した後にメタバーコーディング分析を行った。

以上のデータを用いて、

(1) 人工地増加の植物、チョウ、バッタの種や機能群（生活史グループ）多様性への直接的・間接的な影響を一般化線形混合モデルを用いて解析した。

(2) 種間・機能群間比較から減少を引き起こすメカニズムを構造方程式モデリングにより解析した。

(3) また、訪花昆虫相調査のデータ相互作用ネットワーク解析を行った。

### 4. 研究成果

(1) 20 調査地の畦畔上の全ての維管束植物、観察されたチョウ・バッタ類の種多様性について解析の結果、都市水田で全ての分類群の種多様性の減少が確認された（図 1）。また、植物では、在来の多年生草本と木本の種数のみが都市水田で減少していた。在来・外来一年生草本は都市部で有意に増加していた。チョウ類においては、年 1-2 化性種と年多化性種、ともに減少して

いたが、年 1-2 化性種の方が都市部での減少率が高かった。以上より都市部の水田畦畔では、生活史サイクルがより短い種が相対的な優占度を増加させることが明らかになった。

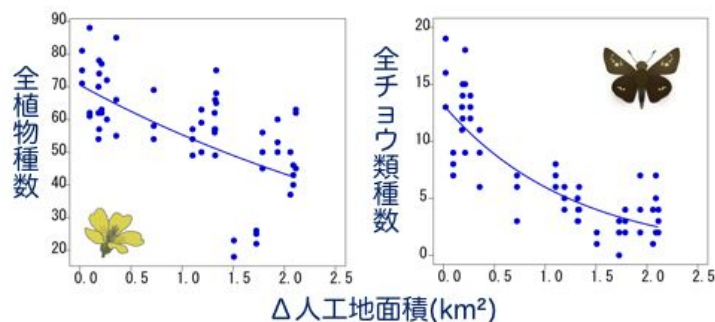


図1 過去 60 年間の周囲 1km の人工地面積増加( 人工地面積)と植物、チョウ、バットの種数の関係。

(2)構造方程式モデリングによる解析の結果、上記の多様性減少を引き起こす要因として、水田周囲の生息地減少(周囲 1km の農地の減少)、景観非接続(周辺二次林との距離の増加)や生息・生育地の質的变化(土壌温度・pH の増加や草刈り頻度の変化)などの影響が強いことが明らかになった。特に減少していた在来多年生草本の種多様性は、土壌環境よりも周囲の景観要素により強く影響を受けていた。また、年 1-2 化性のチョウ類やバタ類の多様性は植物群集の変化により強く影響を受けていた一方で、年多化性のチョウ類の多様性は周囲の景観要素により強く影響を受けていた。

(3)虫媒花植物および送粉者の種数および優占度はともに減少していることが明らかになった。花筒長および口吻長に基づいて植物と送粉者を機能群分けして解析したところ、都市部では、短花筒花・長花筒花を持つ植物種がより減少し、短口吻・長口吻の送粉者がより減少していたことがわかった(図 2)。

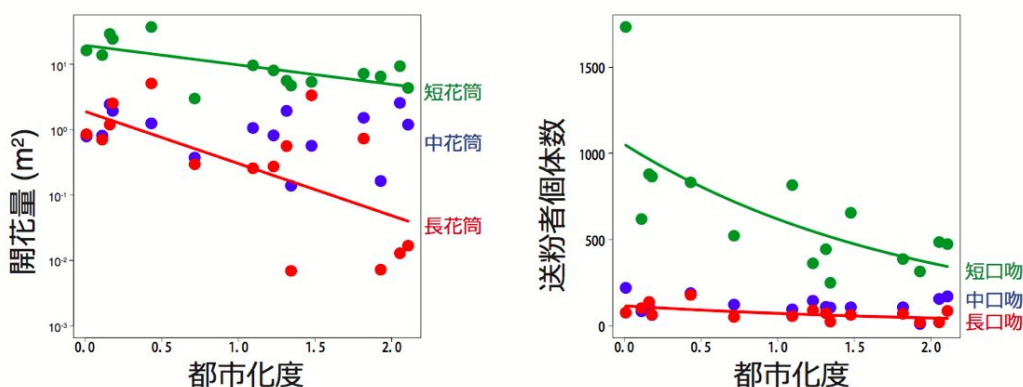


図2 過去 60 年間の周囲 1km の人工地面積増加(都市化度)と虫媒植物 3 機能群の開花面積(開花量)および送粉者 3 機能群の個体数の関係。

さらに都市部の送粉ネットワークは、植物群集組成の変化ではなく、送粉者の種数の減少の影響を受けて、群集レベルで一般化(ニッチ拡大)していることが明らかになった。優占する在来植物 12 種(ウマノアシガタやサギゴケ、ノアザミ、アキノタムラソウ、ツクサなど)の柱頭上の付着花粉数を基に植物群集の送粉成功へ都市化の影響を解析したところ、都市化に伴うネットワーク構造の変化は、在来植物種の繁殖成功を減少させていることが明らかになった。このとき、特に、短花筒花と長花筒花の繁殖成功が減少しており、中花筒花の繁殖成功は都市化の影響を受けてなかった。以上、植物種の繁殖成功は送粉者種の機能的多様性と関連することが示唆された。

オンバタの消化管残存物の分析は、データ化できるところまでいけなかったが、いずれの領域を増幅させるプライマーセットでも、PCR 後の電気泳動で複数の増幅バンドを確認した。植物の種類によって ITS や psbA-TrnH のシーケンス長が異なるために、増幅バンドが複数になったということは複数の植物を食べていたことを示している。食草となる植物種の DNA 配列のレファレンスデータが著しく足りていないために、どの植物を食べていたのかは明らかにできなかったが、少なくとも複数の植物を食べていたことがわかった。今後はこの手法を追求し、全てのバタ類で食草を明らかにし、ネットワーク解析を行っていきたい。

以上の 3 つの研究項目から、阪神地区における都市化は、水田周囲の景観変化や水田畦畔の質的变化を引き起こすことで、高い生物多様性を涵養する水田生態系の植物および植食性昆虫の種・機能的多様性を大きく減少させていること、またこの種の減少は生物間相互作用系の構造

を変化させ、その結果生態系機能を低下させうることを明らかにした。

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計4件)

Uchida K, Fujimoto H and Ushimaru A (2018) Urbanization promotes the loss of seasonal dynamics in the semi-natural grasslands of the East Asian megacity. *Basic and Applied Ecology* 29: 1-11.

Aoshima I, Uchida K, Ushimaru A and Sato M (2018) The influence of subjective perceptions on the valuation of green spaces in Japanese urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening* 4:166-174.

Sato M, Ushimaru A and Minamoto T (2017) The effect of different personal histories on valuation of forest ecosystem services in urban areas: a case study of Mt Rokko, Kobe, Japan. *Urban Forestry & Urban Greening* 28: 110-117.

Hiraiwa MK and Ushimaru A (2017) Low functional diversity promotes niche changes in natural island pollinator communities. *Proceedings of the Royal Society B* 284: 20162218.

### 〔学会発表〕(計12件)

Atushi Ushimaru, Masayoshi K. Hiraiwa. Spatiotemporal variation in pollinator species and functional diversity influences the structure of pollination networks in Japanese islands. *Island biology 2016: II International Conference on Island Evolution, Ecology, and Conservation*, 20 July 2016, Terceira island, Azores, Portugal.

Masayoshi K. Hiraiwa, Atushi Ushimaru. Low pollinator functional diversity in oceanic islands influences pollinators' floral niches. *Island biology 2016: II International Conference on Island Evolution, Ecology, and Conservation*, 20 July 2016, Terceira island, Azores, Portugal.

清水健将, 平岩将良, 丑丸敦史 都市化による機能群多様性の減少が植物送粉者ネットワークに与える影響 第64回日本生態学会大会、東京、2017年3月

青島一平, 内田圭, 丑丸敦史, 佐藤真行 自然環境と満足度～都市の生活と生態系サービス～ 第64回日本生態学会大会、東京、2017年3月

上原勇樹, 瀧本岳, 丑丸敦史 地域的な攪乱頻度に応じた種プールの構築 第64回日本生態学会大会、東京、2017年3月

高島敬子, 長井拓馬, 上原勇樹, 丑丸敦史 耕作放棄地における管理の再導入による植物種の多様性の再生 機能形質による再生プロセスの解明に向けて 第64回日本生態学会大会、東京、2017年3月

丑丸敦史, 清水健将, 平岩将良 都市化による種多様性減少は送粉ネットワークのジェネラリスト化を促進するのか? 第65回日本生態学会大会、札幌、2018年3月

平岩将良, 清水健将, 丑丸敦史 都市化により植物群集の繁殖成功は低下するのか? -開花量減少と送粉者相変化の影響- 日本生態学会大会、札幌、2018年3月

高島敬子, 長井拓馬, 勝原光希, 上原勇樹, 丑丸敦史 機能的多様性から見た草刈り再導入の効果 -放棄畦畔の再生実験- 第65回日本生態学会大会、札幌、2018年3月

中田泰地, 丑丸敦史 都市化は植物の機能形質を変化させるか? 阪神地区の水田における検証 第66回日本生態学会、神戸、2019年3月

田中奎佑, 平岩将良, 清水健将, 中田泰地, 丑丸敦史 都市化による植物群集の花色組成変化 第66回日本生態学会、神戸、2019年3月

平岩将良, 清水健将, 丑丸敦史 送粉ネットワークのジェネラリスト化による送粉機能への影響 -都市と島の生態系を例に 第66回日本生態学会、神戸、2019年3月

〔図書〕(計3件)

丑丸敦史 (2019) 畦の上の草原-里草地. 須賀丈・岡本透・丑丸敦史編著「草地と日本人: 縄文人からつづく草地利用と生態系」(増補版)Pp 170-224. 築地書館

丑丸敦史 (2018) 水田畦畔草地の生物多様性 山口裕文監修 宮浦理恵・松嶋賢一・下野嘉子編「雑草学入門」. Pp 66-77. 講談社

Ushimaru A, Uchida K and Suka T (2018) Grassland biodiversity in Japan: threats, management and conservation. pp 197-218. in Squires VR, Dengler J, Feng H & Hua L (eds.) 2018. Grasslands of the world: diversity, management and conservation CRC Press, Boca Raton, US.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~ushimaru/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

なし

### (2) 研究協力者

氏名: 山本 哲史

ローマ字氏名: YAMAMOTO, Satoshi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。