

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22580278

研究課題名(和文) 気候変動下における水田依存性トンボ類の保全に向けた灌漑システムの開発

研究課題名(英文) Development for irrigation system to conserve the dragonfly dwelling rice paddy field under climate change

研究代表者

神宮 寛 (JINGUJI, HIROSHI)

宮城大学・食産業学部・准教授

研究者番号：10299779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：トンボ類は、水田に生息する他の生物と同様に一時的な水域に生活史を対応させている。トンボの幼虫は、乾燥した長期間を湿った土やデトリタスに隠れて生き延びている。水田に依存するトンボ類幼虫にとって、乾燥状態の変化をもたらす灌漑システムの変化は生存に大きな影響を及ぼす。本研究では、水田に生息するアカネ属幼虫を用いてライシメータや室内実験をおこなった。実験の結果から、中干し管理の実施時期によってアカネ属幼虫の個体数に大きな差が生じることが明らかとなった。特に気候変動に伴う早期中干しは、幼虫の生存率の低下を招く。中干し実施時期と幼虫生存率の関係を理解することは、水田に依存したトンボ類全般の保全に重要である。

研究成果の概要(英文)：Dragonflies occurring in rice fields, like all other freshwater macroinvertebrates of rice fields, require certain life cycle traits to cope with or circumvent the temporary nature of their habitats. Dragonfly larvae may survive long periods of drought burrowed in wet soil or hidden in wet detritus; drought survival in egg stage is common in species of *Lestes* and others. However, avoiding drought by spending the dry period as adults may be the most common habit in the Odonata of temporary waters, particularly in the tropics (Suhling et al. 2014/in press). This requires rapid larval development. This study derives from experiment with a micro-paddy lysimeter and laboratory experiment about *Sympetrum* spp. in the rice fields. Data on survival rate for *Sympetrum* spp. are different between early middle drainage and postpone drainage. Understanding the relationship between middle drainage and survival rate of larvae is supposed to aid rice field-dwelling species conservation.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：アカネ属 中干し 栽培管理 ライシメータ 生存率 発育ゼロ点 有効積算温量

1. 研究開始当初の背景

アカトンボは、水田魚類のドジョウと同じく、普通種である。ドジョウは鳥類のえさ資源として重要であるとされ、保全の機運が高まっている。ドジョウと同様にアカトンボの成虫も多くの鳥類のえさ資源となっており、水田生態系の食物網において重要な位置を占めている。また、農地・水・環境保全向上対策における取り組みの一環として実施されている生き物調査において、多くの地区で調査対象生物となっている。

このように、アカトンボは農村地域の人々に親しみやすく、水田生態系の指標生物としての価値が高いといえる。ところが、近年、各地でアキアカネをはじめ水田依存性のアカトンボ類の急激な減少が指摘されている。1989年と2008年に行った石川県野々市町の水田(A~Eの5枚)でのアキアカネの羽化数調査によると、2008年の羽化数は1989年に比べて約1/150であった(上田2008)。赤とんぼネットワーク会員の協力をえて全国的に行った秋季の成虫センサスや夏季の高地での成虫センサスでも(上田2008)、アキアカネの激減が明らかになっている。

神宮宇ら(2009)は、小型ライシメータを使った実験などから、アキアカネ減少の原因として、育苗箱施用浸透性殺虫剤の影響が大きいことを示した。同時に、小型ライシメータを用いた生態影響評価方法を確立した。小型ライシメータは、地下・表面排水の制御が容易であり、人工気象室への設置が可能である。小型ライシメータを用いた実験によって、各地の気象条件を反映した水管理を再現することが可能となっている。

2. 研究の目的

この研究では、灌漑システムを類型化し、水田を利用するアカトンボ類のリスク評価を行った。水田を幼虫時代の生息地とするアカネ類(アキアカネ、ノシメトンボなど)を主な研究対象とした。その際、次の2つ

の目的を設けて研究を行った。

- (1) 水田灌漑時期の変化がアカネ類幼虫の生存に及ぼす影響—中干しに着目して—

水田の灌漑システムがどのように変化したかを把握し、そのアカネ類への影響を評価した。灌漑時期、特に中干しのタイミングの影響を評価した。

- (2) アキアカネ幼虫が中干し時に遭遇する乾燥に対する耐性

現在の中干しの開始時期は、アキアカネ幼虫が8齢~10齢のステージで起きる。そこで、8齢~10齢の幼虫が持っている乾燥耐性を中干しによって生じる土壤乾燥を再現して検証した。

3. 研究の方法

3. 1 水田灌漑時期の変化がアカネ類幼虫の生存に及ぼす影響—中干しに着目して—
本実験では、ライシメータを用いて早期中干し区、慣行中干し区および中干し延期区の3条件を設定し、各条件における幼虫死亡率および羽化率の実態を明らかにした。

材料と方法

① 実験装置

500×300×350mm(W×L×H)の小型ライシメータを用いた。ライシメータには前年に農薬を使用していない水田作土(宮城大学付属坪沼農場より採取)を充填した。充填した土壤の土性調査はJIS A1204にしたがって行った。にひとめぼれの苗を1台につき2株、株間15cm間隔で移植した。水管理は湛水深を30mmとし、蒸発散で減少した分を毎日注水した。ライシメータには羽化個体採集用のネットを設置した。このネットは同時に鳥などの捕食者の侵入を防ぐ機能も果たしている。

② 実験条件

6/26~7/5に中干しを実施する早期区、7/10~7/19に実施する慣行区、8/1~8/10

に実施する延期区の 3 条件×3 反復で実験を行った。慣行区の中干し開始時期については宮城県水稲指導指針（宮城県 2008）を参考にした。早期区の中干しについては古川農業試験場での実施履歴（阿部ら 2010）を参考にした。延期区においては慣行栽培に 2 週間遅れて中干しを実施した。本年度は田植えの日程が例年より 10 日ほど遅れたため、それぞれ、田植えの遅れを加算して中干し開始日を設定した。中干し開始時にはライシメータの表面排水ドレーンおよび底面排水ドレーンから排水を行い、以降は中干し終了まで常時開放した。中干し実施後は実際の水田管理に則って浅水管理とした。浅水管理では常時 10mm 程度の湛水深を維持した。

③ 供試個体

中干しの実施前に実験圃場から採集したアキアカネ幼虫を実験に供試した。ライシメータ 1 台あたりの放流個体数は原則 20 個体とした。放流日は早期区、慣行区および延期区においてそれぞれ 6/23、7/3、7/3 とした。なお、実験開始前に共食いなどによって個体数が減少していた区画には追加個体を放流した。幼虫の放流は 6/23 に早期区、7/3 に慣行区および延期区に対して行った。6/23 時点での幼虫の平均頭幅は 3.9 ± 0.7mm、7/3 時点での平均頭幅は 4.9 ± 0.6mm であった。

④ 降水量

実験期間中の降水量の観測データを、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所から得た。実験地より最も近い佐保山観測所（仙台市太白区茂庭字佐保山西 2）での観測データを使用している。

⑤ 土壌水分の測定

土壌水分計（DECAGON 製, EC-5）を設置し、1 時間に 1 回の間隔で体積含水率を測定した。

⑥ 幼虫死亡率の算出

中干し期間中は毎日定時に観察を行い、死亡した個体を回収した。死亡個体の判定は、ピンで刺激を与え反応がある場合は生存と判断、反応がない場合は実態顕微鏡を用いて呼吸を観察し、呼吸が確認されなければ死亡と判定した。死亡率の算出には以下の式を用いた。

$$\text{幼虫死亡率 (\%)} = (n/m) \times 100$$

n：中干しの影響による死亡個体数

m：放流個体数

⑦ 頭幅の測定

回収した死亡個体は実態顕微鏡にて 0.1mm 単位で頭幅を測定した。

⑧ 羽化率の算出

羽化初見日から羽化終了まで毎日羽化殻と成虫を採集し、羽化数を計測した。また、対照実験のために実験圃場においても羽化殻を回収し、羽化数を計測した。羽化率の算出には以下の式を用いた。

$$\text{羽化率 (\%)} = (n/m) \times 100$$

n：羽化個体数

m：放流個体数

⑨ 翅長の測定

回収した成虫の前翅長および後翅長を 0.1mm 単位で測定した。測定は前翅、後翅ともに翅の先端から根元までが測定範囲である。対照実験として 7/16 に宮城大学実験圃場にてアキアカネ成虫を採取し、同様に前翅長および後翅長を計測し、比較した。

3.2 アキアカネ幼虫が中干し時に遭遇する乾燥に対する耐性

本実験では、ワグネルポットを用いた室内実験により、土壌水分の条件と齢数の違いによって生じる死亡率の変化を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

① 実験装置および条件

φ 174.6 × φ 160.4 × 197.5mm（上径 × 下径 × 高さ）のワグネルポットに宮城大学附属坪沼農場より採取した水田作土を充填し、

実験装置とした。ライシメータ実験に用いた土壌と同一である。

土壌水分に違いを持たせるために①常に湛水した状態(湛水区)、②湛水深はないが、排水口を常時閉鎖し常に土壌が湿潤している状態(湿潤区)、③湛水状態から実験開始とともに排水を行い、乾燥させる状態(乾燥土区)④排水口に沿ってもみ殻を用いた3cm幅の水道を設置し、排水性を高めた状態(もみ殻3cm区)⑤排水口に沿ってもみ殻を用いた6cm幅の水道を設置し、さらに排水性を高めた状態(もみ殻6cm区)の、5条件のワグネルポットを用意した。

アキアカネ8齢、9齢、10齢幼虫を用いて実験を行った。ワグネルポット1台につき5個体の幼虫を投入し、湛水した状態で24時間順化させたのちに排水を開始し、その後7日間にわたって死亡個体を観察した。3齢数×5土壌条件×3反復で合計45の実験区を用意した。

なお、実験中は湿潤区、乾燥土区、もみ殻3cm区およびもみ殻6cm区では湛水深がないため採餌を行えないが、湛水区に限り共食いを防ぐためにユスリカ、ボウフラなどを餌として与えた。

② 供試個体

2011年に宮城大学附属坪沼農場および宮城大学旗立実験農場にて採集したアキアカネ卵をインキュベータで野外の気象条件に合わせ保管した。実験開始前に25℃の温度化で孵化させ、4/27および4/28に孵化した幼虫600個体を24穴ウェルプレートに回収し、インキュベータ20℃設定、明：暗＝16：8h、照度3000luxの条件で飼育した。実験開始前に320個体が死亡し、生存個体のうち225個体を実験に用いた。飼育個体が8齢、9齢、10齢に達した段階で順次、実験に使用した。供試個体は原則として実験開始2日から3日前に脱皮したものとした。実験開始前に湛水状態にしたワグネル

ポット内で24時間順化を行った上で排水を開始した。

③ 実験期間

2012年4月27日から幼虫の飼育を開始し、6/10の8齢実験開始から7/7の10齢実験終了まで27日間実験を行った。

④ 土壌水分の測定

湛水区以外の実験区では3反復の内1台で土壌水分を測定した。ワグネルポット側面、土壌表面より5cm下に開口部を設け、土壌水分センサー(DECAGON製、EC-5)を土壌に対して水平に挿入し、体積含水率を1時間に1回の間隔で測定した。

⑤ 排水流量の測定

排水を行う乾燥土区、もみ殻3cm区およびもみ殻6cm区については実験開始時に排水を1分間×3反復でトレーに回収した。後にメスシリンダーで計測し、排水流量を求めた。

⑥ 死亡率の算出

実験期間中は毎日生死判定を行い、死亡個体を回収した。生死判定の基準はピンで刺激を与え、反応あった場合生存と判定、反応がない場合は実態顕微鏡を用いて呼吸を確認し、最終的な生死を判断した。死亡率の算出には以下の式を用いた。

$$\text{幼虫死亡率(\%)} = (n/m) \times 100$$

n=死亡個体数

m=投入個体数

また、死亡個体の推移は死亡率の逆数を用いて生残率として表した。

4. 研究成果

3. 1 水田灌漑時期の変化がアカネ類幼虫の生存に及ぼす影響—中干しに着目して— (1) 死亡率

各ライシメータの放流個体数(m)は早期区で19個体、17個体、20個体。慣行区では20個体、25個体、20個体。延期区では21個体、20個体、19個体であった。

累積死亡個体数の結果を図1に示す。値はそれぞれの実験区で3反復を合計したものである。早期区では10日間の中干し期間中、継続的に死亡個体が増え、最終的な死亡個体数は28個体となった。慣行区および延期区では7日目で死亡個体はほぼ頭打ちとなり、最終的な死亡個体数は慣行区で10個体、慣行区で8個体であった。

死亡率の結果を比較したものが図2である。早期区、慣行区および延期区でそれぞれ50±4%、16±7%、14±11%であった。分散分析の結果、慣行区および延期区と早期区の間には有意な差が認められた(ANOVA, F値=12.623, p=0.0071)。

(2) 頭幅

個体の齢数の断定には神宮宇(2009)の頭幅測定結果を基準とし、2.5~3.2mmを8齢、3.3~4.1mmを9齢、4.2~5.5mmを10齢とした。以上の基準に基づいて死亡個体の齢数を分類したところ、早期区は8齢、9齢および10齢幼虫でそれぞれ6個体、11個体、10個体であった。慣行区では8齢、9齢および10齢幼虫でそれぞれ0個体、0個体、7個体であった。延期区では8齢、9齢および10齢幼虫でそれぞれ0個体、1個体、7個体であった。

(3) 羽化率

累積羽化個体数の結果を図3に示す。慣行区と延期区において羽化初見日は7/9であった。早期区での羽化初見日は他の2区に比べ遅れ、7/17が羽化初見日であった。最終的な羽化個体数は早期区、慣行区および延期区でそれぞれ8個体、30個体、46個体であった。

羽化率を算出した結果は早期区、慣行区および延期区でそれぞれ14±5%、46±9%、76±12%となった。分散分析の結果、各条件の間で有意な差が認められた。(ANOVA, F値=33.293, P=0.0006)

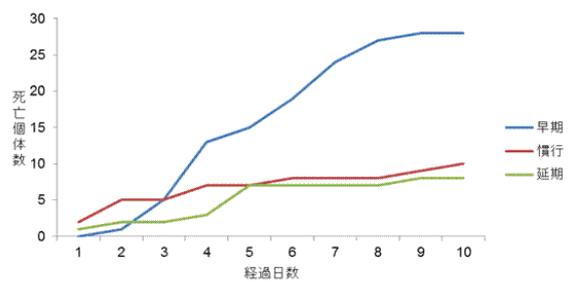


図1 累積死亡個体

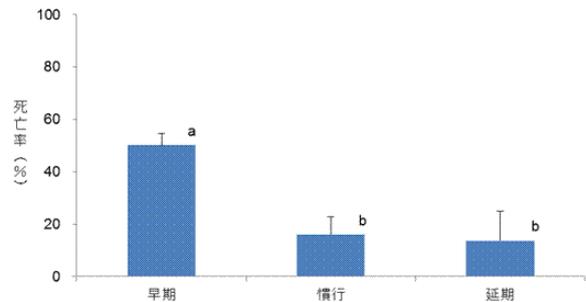


図2 幼虫死亡率

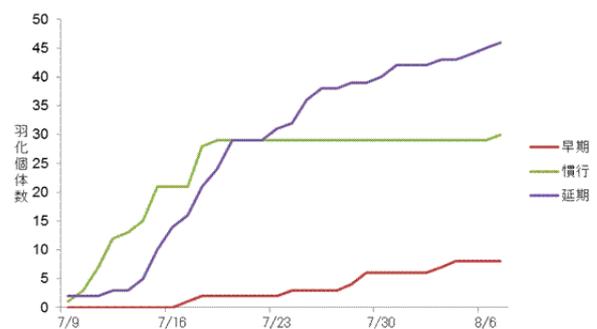


図3 累積羽化個体数

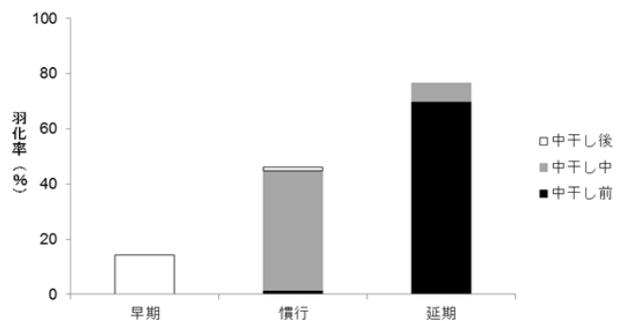


図4 中干し前・中・後での羽化率

各実験区で羽化が起きた時期を中干し前、中干し中、中干し後に分けて集計した(図4)。早期区は全ての個体が中干し後に羽化した。慣行区は中干し前に2%、中干し中に43%、中干し後に2%の個体が羽化した。延期区は中干し前に70%、中干し中に7%の個体が羽化し中干し後の羽化はなかった。

3. 2アキアカネ幼虫が中干し時に遭遇す

る乾燥に対する耐性

(1) 土壌水分

10 齢実験時開始時の体積含水率の値は湿潤区, 乾燥土区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区でそれぞれ 50.9%, 49.4%, 47.5%, 52.8%であった。実験終了時には湿潤区, 乾燥土区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区でそれぞれ 49.1%, 47.8%, 41.0%, 28.1%へと推移した。湿潤区と乾燥土区の差が小さく, もみ殻 6cm 区の値が著しく小さい結果となった。

(2) 排水流量

平均排水流量の値は乾燥土区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区でそれぞれ $0.5 \pm 0.3 \text{ ml/s}$, $1.3 \pm 1.4 \text{ ml/s}$, $1.9 \pm 1.5 \text{ ml/s}$ であった。

(3) 死亡率

湛水区では全ての齢数において死亡率が 0%となった。8 齢が最も死亡率が高く, 湿潤区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区での死亡率がそれぞれ $23\% \pm 3$, $87\% \pm 23$, $80\% \pm 20$, $80\% \pm 35$ であった。9 齢は湿潤区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区でそれぞれ $25\% \pm 25$, $53\% \pm 46$, $28\% \pm 30$, $40\% \pm 20$ であった。10 齢は著しく死亡率が低く, 湿潤区, もみ殻 3cm 区およびもみ殻 6cm 区でそれぞれ 0%, $13\% \pm 12$, $13\% \pm 12$, 0%であった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Effects of temperature and light on the hatching of overwintering eggs in three Japanese *Sympetrum* species. H. Jinguji, H. Tsuyuzaki, T. Ueda, Paddy and Water Environment 8(4), 査読有, 385-391. 2010
耕作水田におけるフィプロニルを成分とした箱施用殺虫剤がアカネ属に及ぼす影響. 神宮字寛・上田哲行ほか, 農業農村工学論文集, 査読有, 267, 79-86. 2010
アキアカネの目で見える水稲栽培. 神宮字寛, 農業農村工学会誌4巻. 50-52, 2011
アカトンボ減少原因の究明—浸透移行性殺虫剤の影響. 神宮字寛, 昆虫と自然7巻, 査読有, 16-19. 2012
Effect of Imidacloprid and Fipronil pesticide

application on *Sympetrum Infuscatum* (Libellulidae: Odonata) larvae and adults. Hiroshi Jinguji, Dang Quoc Thuyet, Tetsuyuki Ueda, Hirozumi Watanabe. Paddy and Water Environment 11, 査読有, 277-284, 2012

Development and characterization of 23 polymorphic microsatellite markers for *Sympetrum frequens*. Noriyuki Koizumi, Thomas W. Quinn, Hiroshi Jinguji, Kazuya Nishida, Keiji Watabe, Takeshi Takemura and Atsushi Mori : Conservation Genetics Resources4(1), 査読有, 67-70. 2012

Effects of environmental factors on *Sparganium emersum* and *Sparganium erectum* colonization in two drainage ditches with different maintenance. Korehisa Kaneko, Hiroshi Jinguji, 査読有, Agricultural science 3(4), 538-544, 2012
アキアカネに何が起こったのか. 上田哲行・神宮字寛, TOMBO, Fukui, 査読有, 55, 1-12. 2013
〔学会発表〕(計 3 件)

Recent declines in rice field-dwelling *Sympetrum* spp.: verification of insecticide application, Hiroshi Jinguji: Proceedings of 15th International congress of Odonatology, 2012 (Plenary lecture)

Recent decline of rice-field dwelling *Sympetrum* spp. verification of pesticide application impacts. Hiroshi Jinguji, Proceedings of IUCN Tokyo Symposium: Impacts on Honeybee, Aquatic ecosystems and Rice cultivation, 2013 (Key note lecture)

Embryonic development and inter-specific predation in genus *Sympetrum* species. Hiroshi Jinguji, Proceedings of International congress of Odonatology, 査読有, pp.42, 2013
〔図書〕(計 3 件)

赤とんぼを増やすコメ作りが始まった. 神宮字寛, 現代農業6月号, 238-241. 2012

赤とんぼの舞う水田景観の復活. 神宮字寛, 農村計画学, 朝倉書店, 144-148. 2012

水田生態系の保全, 農地環境工学, 神宮字寛, 文永堂出版. 2014

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神宮字寛 (宮城大学)

研究者番号: 10299779

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし