

MS505 IPM



# 化学農薬に依存しない 害虫被害ゼロ農業の実現

日本 典秀



京都大学大学院 農学研究科  
地域環境科学専攻  
生態情報開発学分野



2022/08/31 成果報告会@東京国際フォーラム

# 内閣府 ムーンショット 目標5

2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出

## 90億人がおいしく食べ続けられる社会を創る

— 自然を資本に地球規模の新事業を創出 —

- 🌱 食料供給の拡大と地球環境保全を両立する食料生産システム
- 🌱 食品ロスゼロを目指す食料消費システム

# 背景：モノカルチャーによる生物多様性の喪失

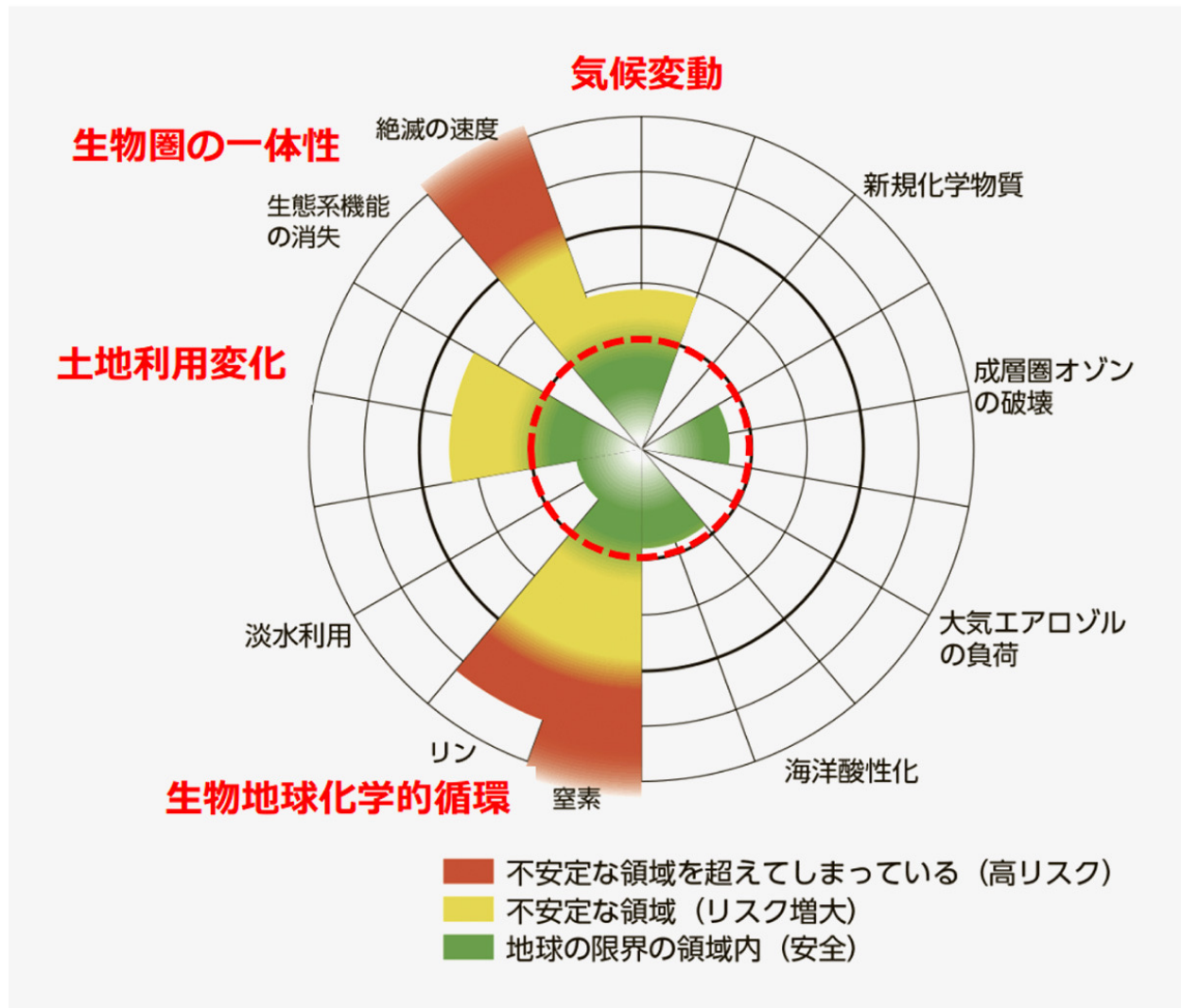
これまでは、集約的農業による農業生産の向上が目指されてきたが...



生物多様性の喪失と環境破壊は、いつまでも続けるわけにはいかない。

# 地球の有限性を具体的に示す「プラネタリー・バウンダリー」

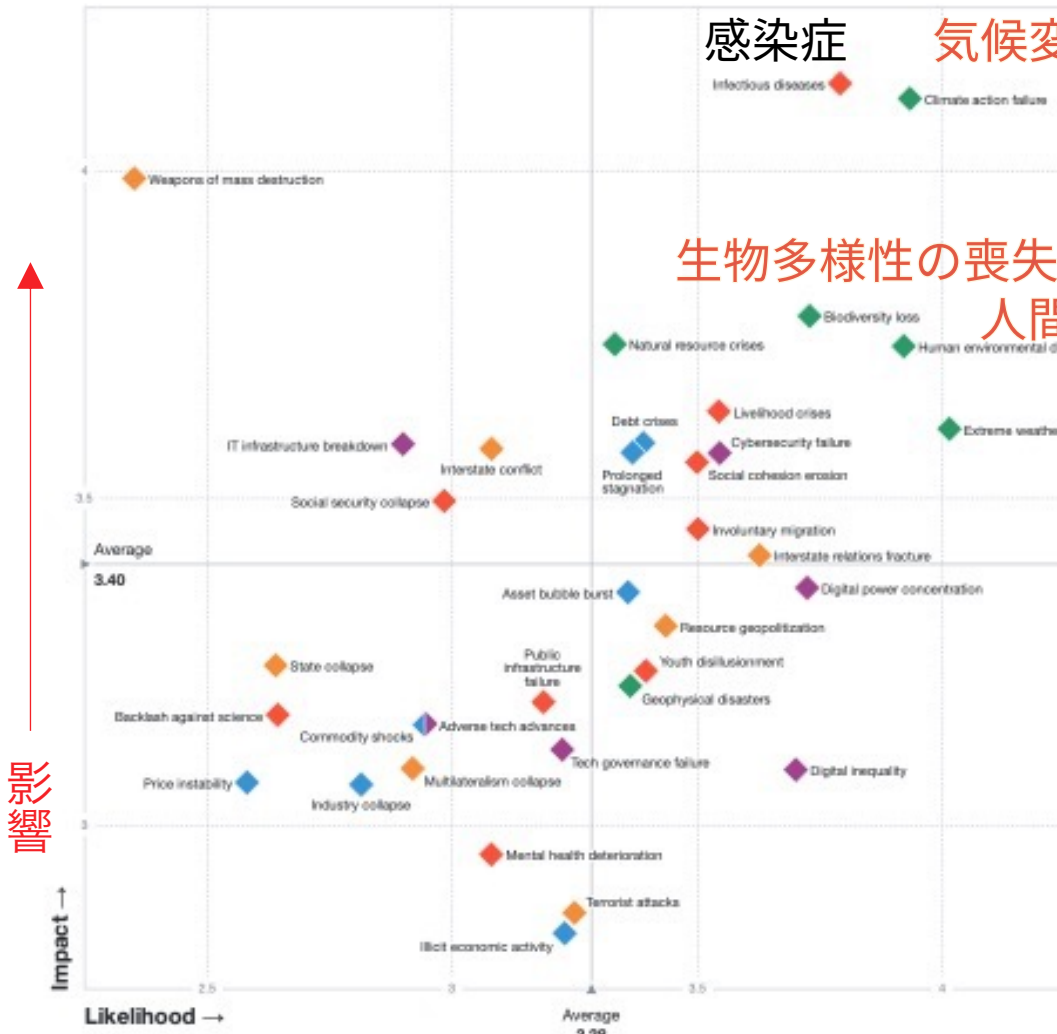
## 現在の地球の状況



資料：Will Steffen et al. 「Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet」より環境省作成  
出典：平成29年度版環境白書  
<https://energy-shift.com/news/11c0a513-437b-466a-9ad1-18157508551e>

# Global Risk Landscape

How do respondents perceive the impact ↑ and likelihood → of global risks?



感染症  
Infectious diseases

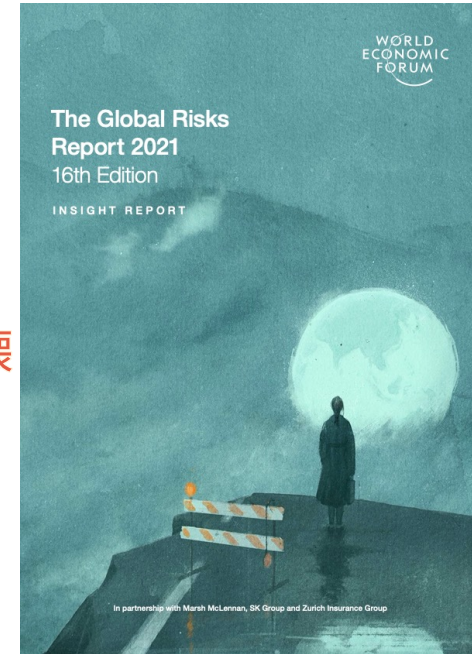
気候変動対応の失敗  
Climate action failure

生物多様性の喪失  
Biodiversity loss

人間による環境破壊  
Human environmental damage

影響

可能性



## Top Risks

by likelihood

- 1 Extreme weather
- 2 Climate action failure
- 3 Human environmental damage
- 4 Infectious diseases
- 5 Biodiversity loss
- 6 Digital power concentration
- 7 Digital inequality
- 8 Interstate relations fracture
- 9 Cybersecurity failure
- 10 Livelihood crises

## Top Risks

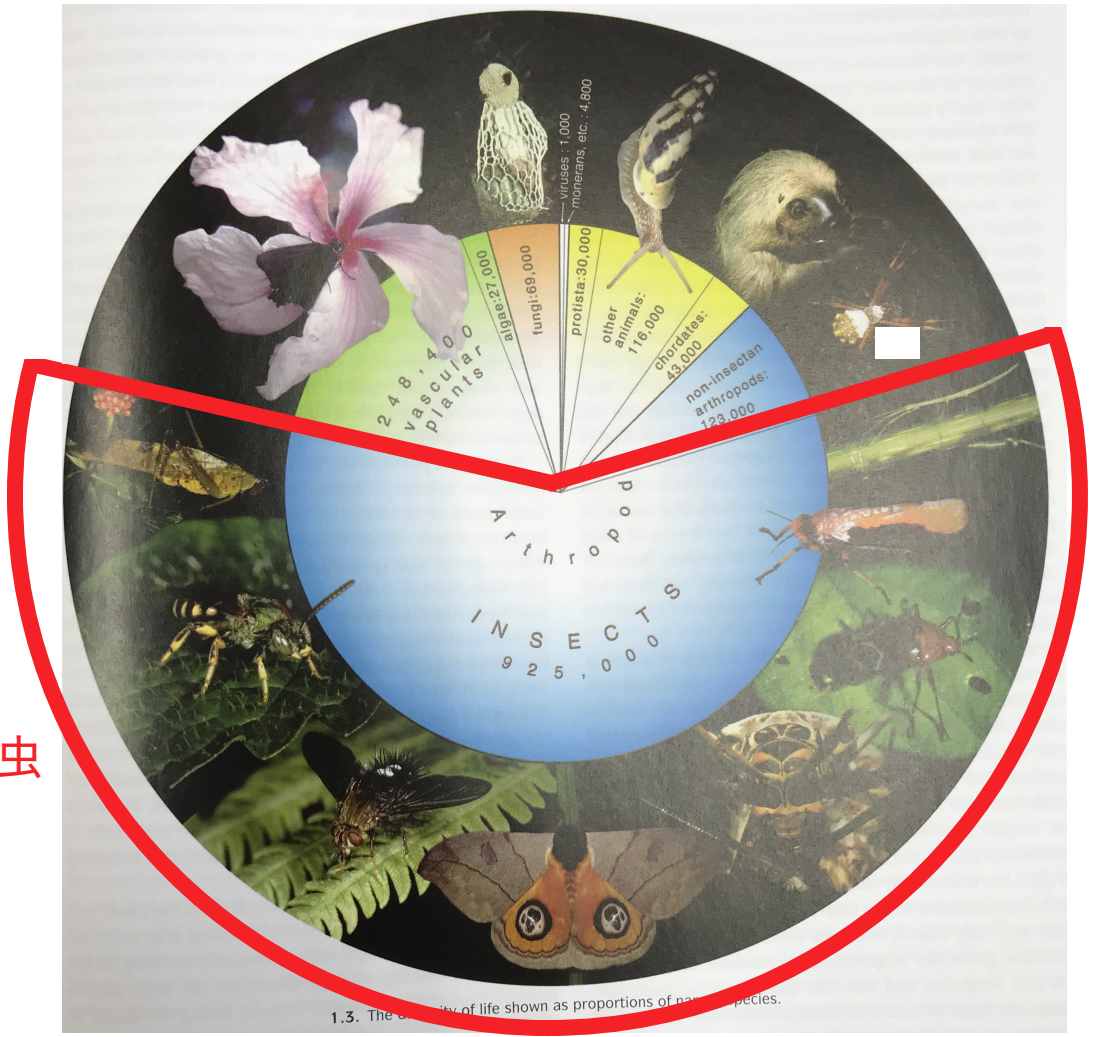
by impact

- 1 Infectious diseases
- 2 Climate action failure
- 3 Weapons of mass destruction
- 4 Biodiversity loss
- 5 Natural resource crises
- 6 Human environmental damage
- 7 Livelihood crises
- 8 Extreme weather
- 9 Debt crises
- 10 IT infrastructure breakdown

# 昆虫は生物種の半数以上を占めている

## 繁栄の理由

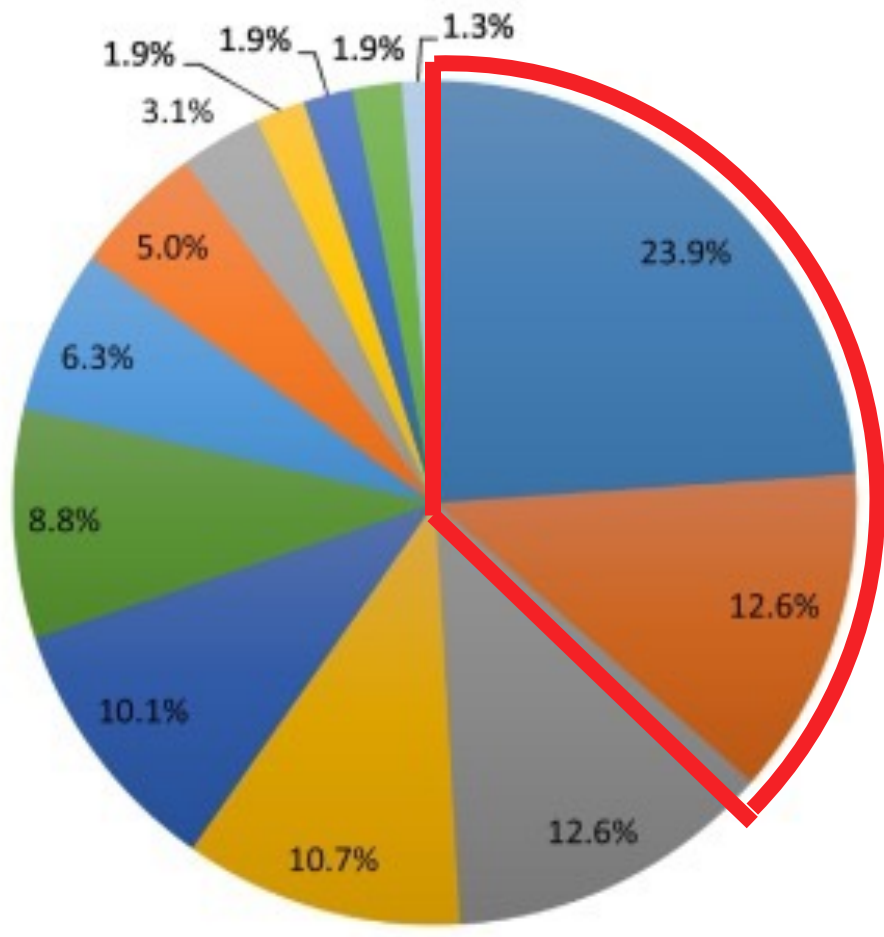
- 小型
- 翅
- 変態
- 軽量で丈夫な外骨格



昆虫

1.3. The diversity of life shown as proportions of new species.

# 昆虫の減少の主要因



intensive agriculture  
pesticides

集約的農業  
農薬

# 人間にとっての昆虫

 害虫

害虫は、ごく一部。  
その防除のために、  
生物多様性を破壊していいのか？

 益虫

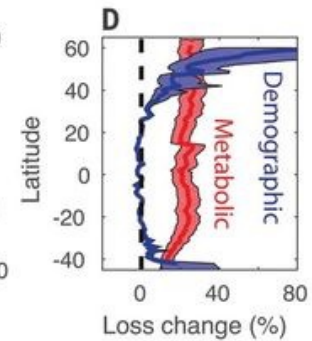
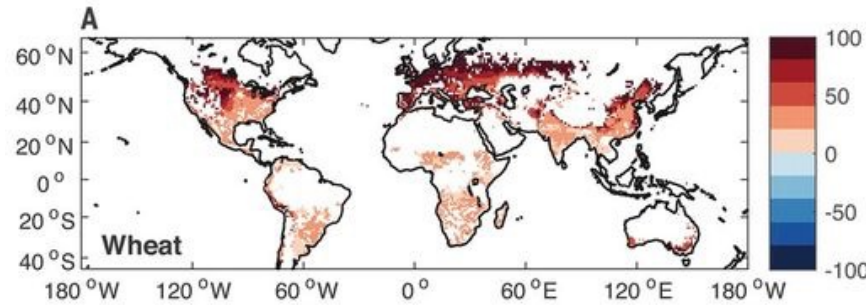
 ただの虫



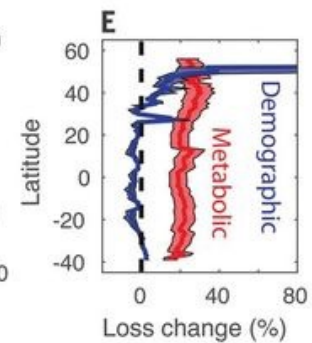
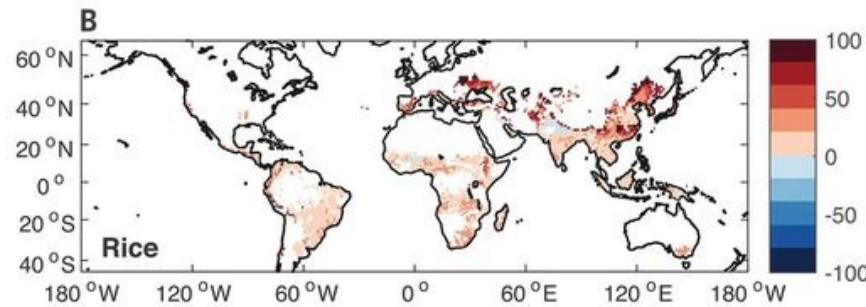
# 温暖化による害虫による被害拡大予想

平均気温が2°C上昇すると、害虫被害も拡大する

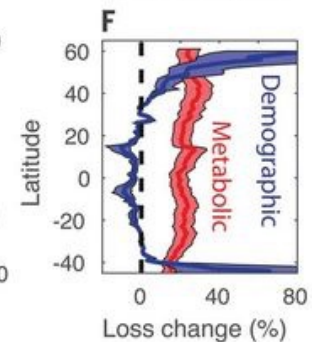
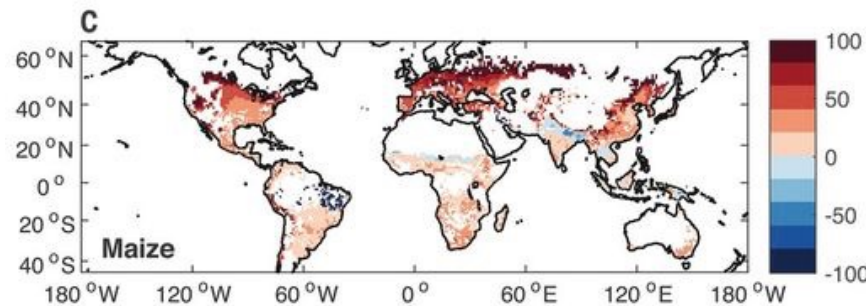
小麦



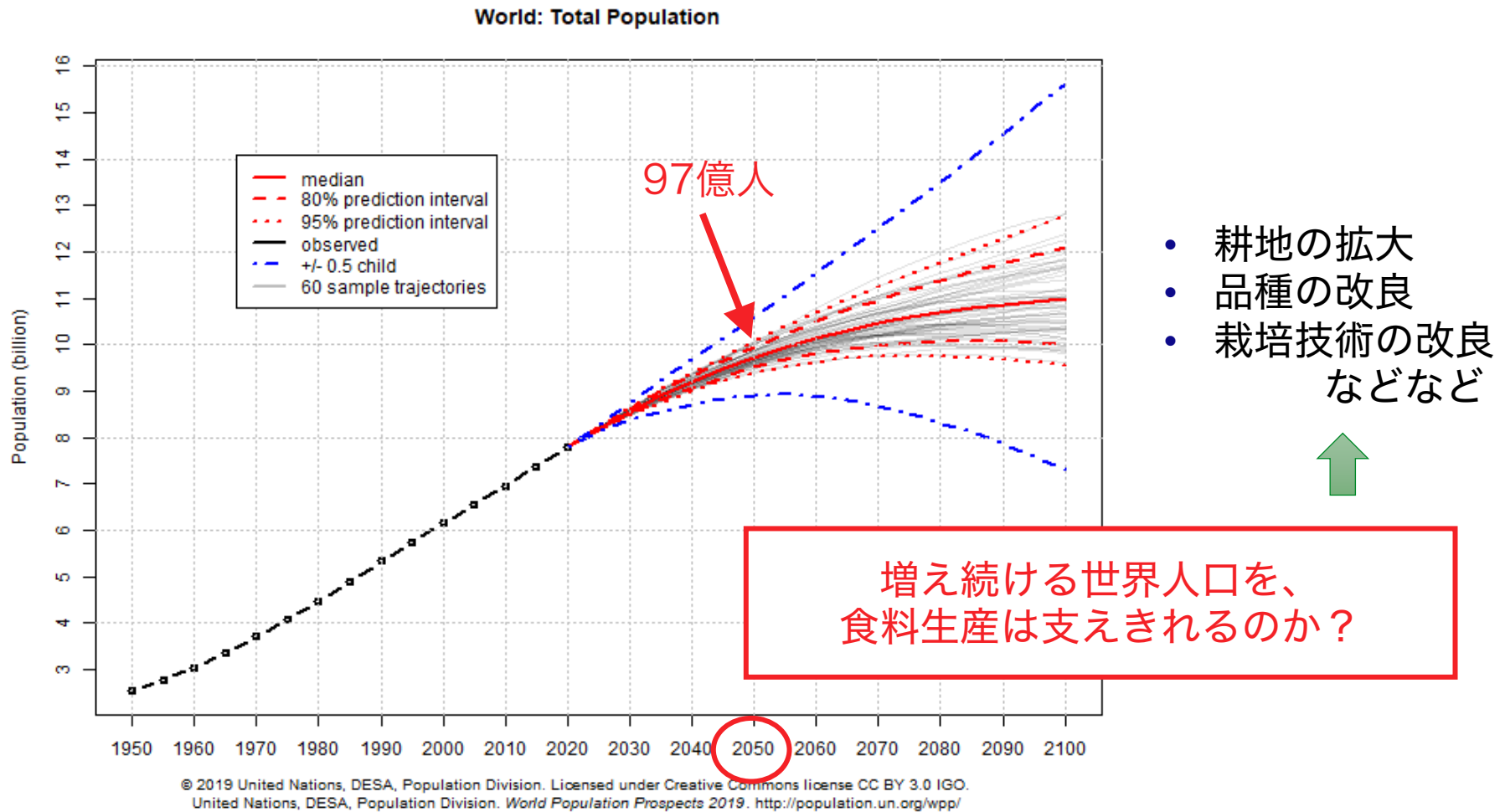
米



トウモロコシ

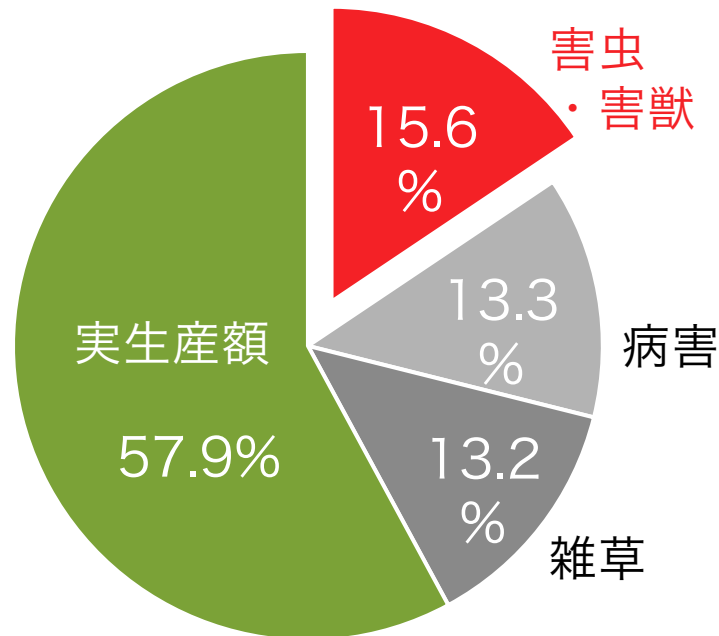


# 世界人口の予測



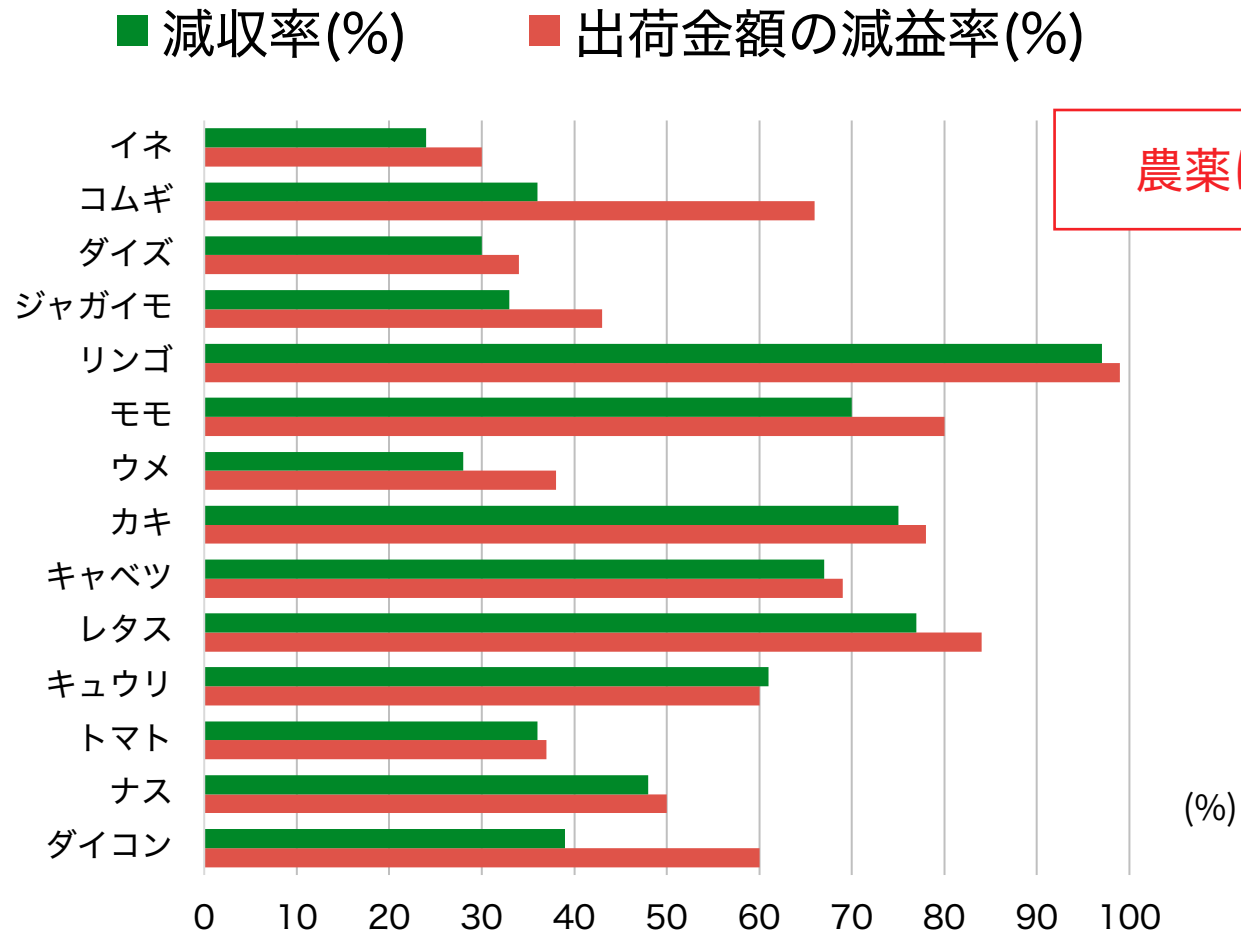
# 病虫害・雑草による潜在的被害

病害、害虫、雑草による減収は  
世界合計で42%



100%=世界の可能作物生産額(≒165兆円)

# 日本で農薬防除をしない場合の減収・減益



農薬は必須の防除技術

# 殺虫剤開発をめぐる問題

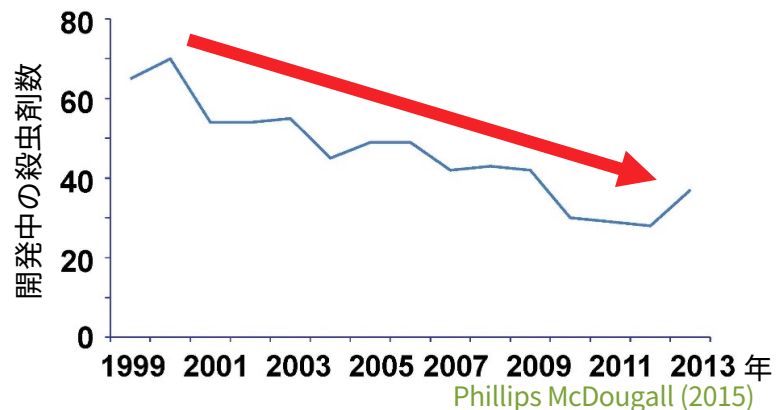
新剤1剤の**開発コスト315億円**、**11.3年**かかる

新剤を見つける**確率1/160,000**

	1995年	2000年	2005～ 2008年	2010～ 2014年
平均開発コスト (億円)	167	202	282	<b>315</b>
平均開発期間 (年)	8.3	9.1	9.8	<b>11.3</b>
1剤開発で合成 する化合物数	52,500	139,429	140,000	<b>159,574</b>

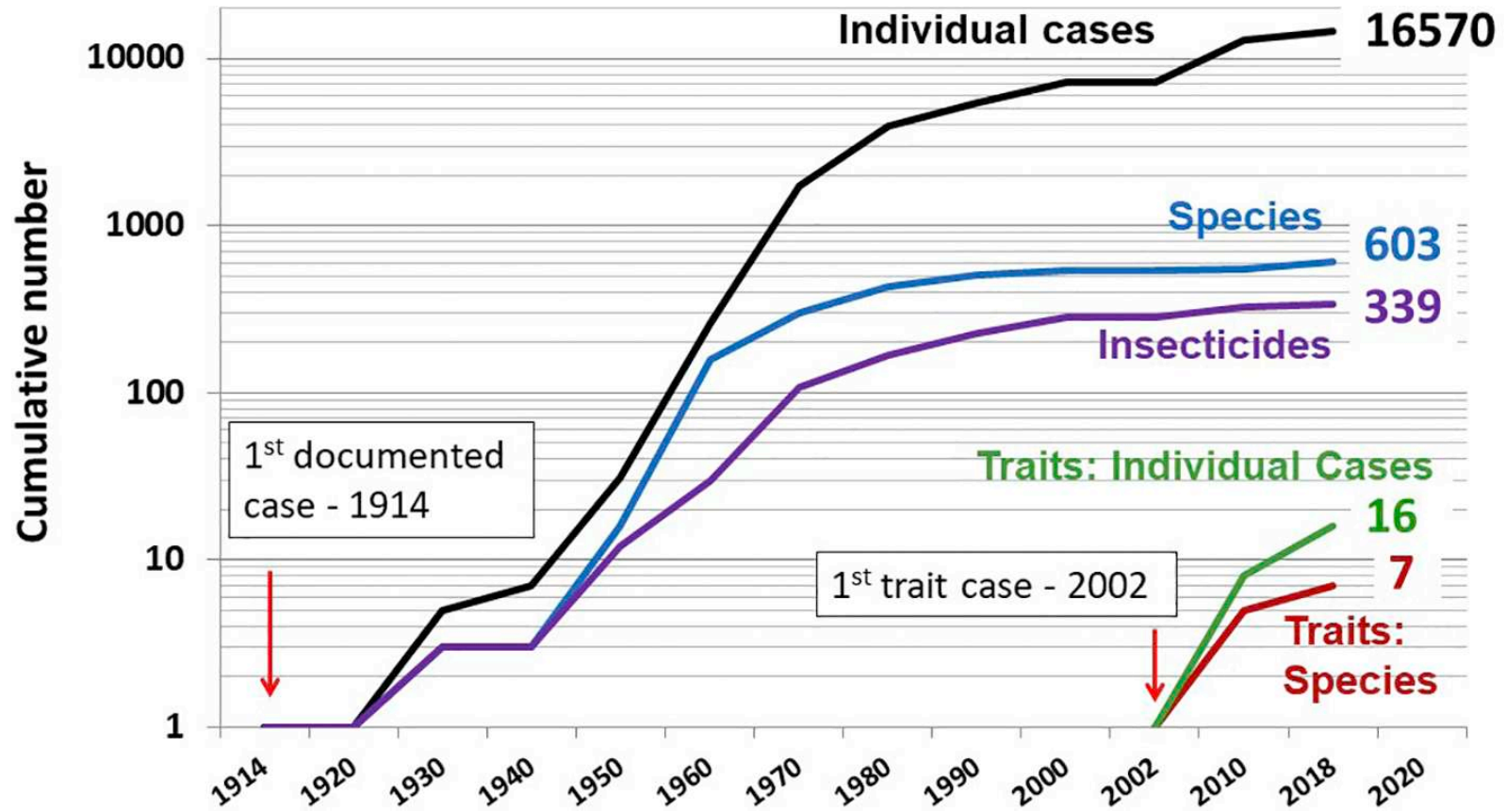
農薬工業会 ([https://www.jcpa.or.jp/qa/a4\\_16.html](https://www.jcpa.or.jp/qa/a4_16.html))

新剤開発数は年々減少



# 害虫の殺虫剤抵抗性の発達

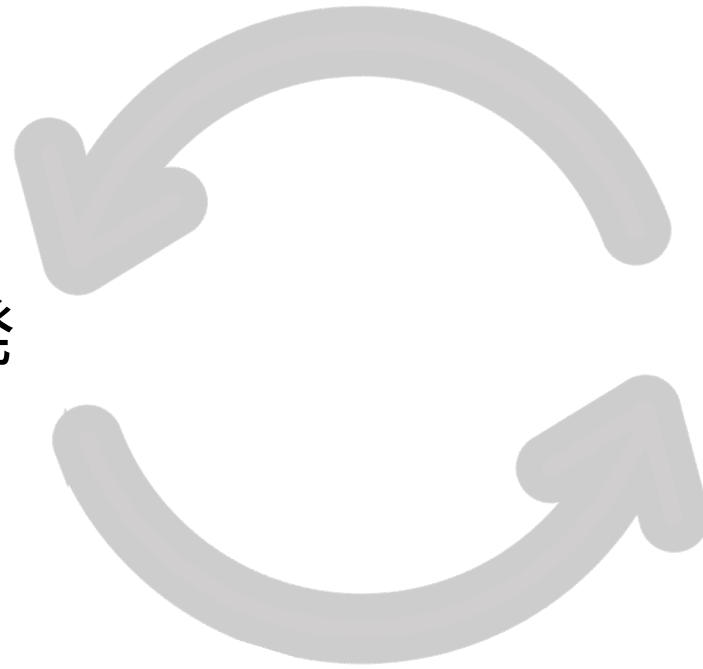
害虫×殺虫剤の組み合わせで、16,570件もの報告



# この「いたちごっこ」を、いつまで続けられるか？

新規薬剤の開発

抵抗性発達



# さらに、農薬散布は生産者への負担大

- 🦟 真夏でも、重装備
- 🦟 作物の栽培・収穫ではなく、  
防除を考えなくてはならない





# 施設の大規模化：家族経営から企業経営に

従業員のいる昼間は農薬散布ができない

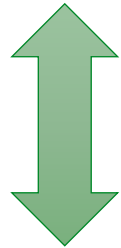


適切なタイミングでの防除できない



# 害虫管理と化学農薬

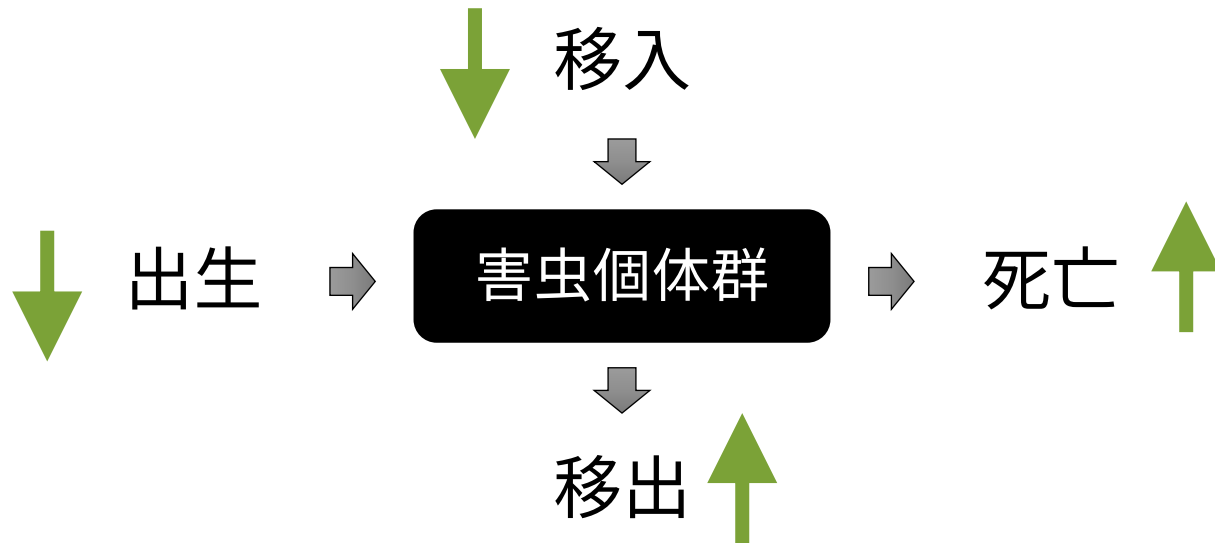
🐛 害虫を防除しなくては、作物が失われる



いかに解決するか？

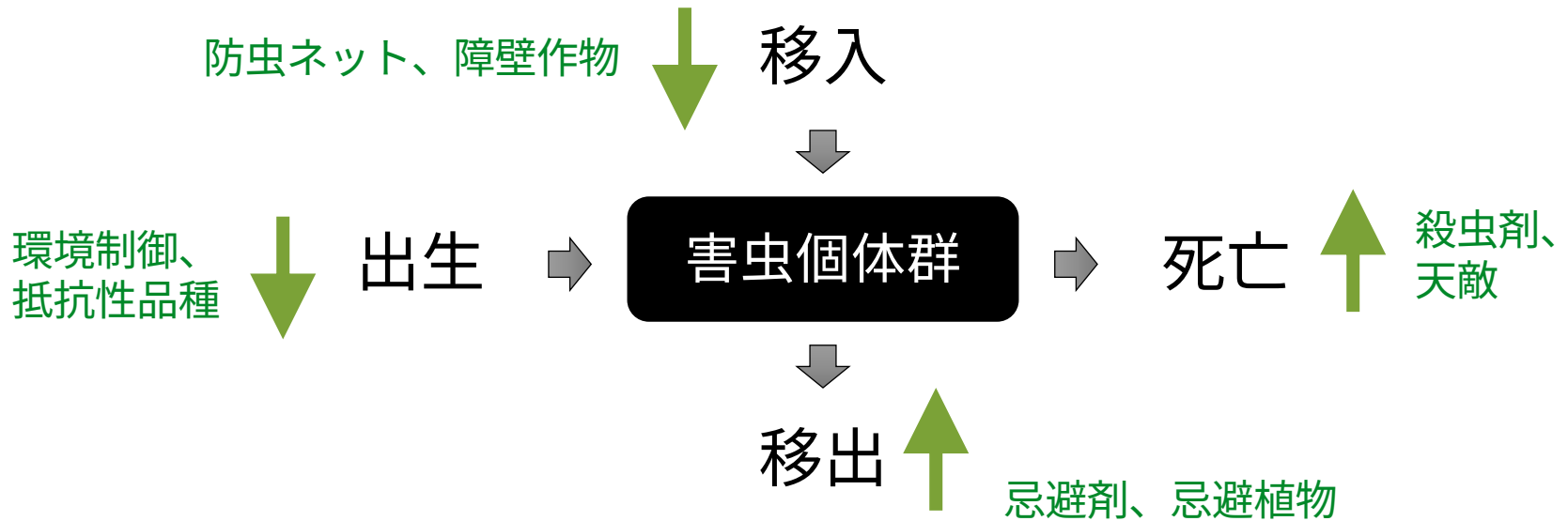
🐛 化学農薬は、使えない・使いたくない

# 害虫管理



**害虫管理**とは、害虫個体群の移入率や出生率を減らし、移出率や死亡率を上げること

# 害虫管理



## IPM

Integrated Pest Management  
総合的病虫害・雑草管理

# IPM (Integrated Pest Management) の現状

総合的病害虫管理では、防除技術を合理的に組み合わせることを目指しているが...

## ● 化学的防除

化学農薬

これまでは、**圧倒的に化学農薬に依存**

## ● 物理的防除

防虫ネット

<sup>予</sup>防はできても<sup>駆</sup>除ができていなかった

## ● 生物的防除

天敵

使いこなすのに**匠の技**が必要

## ● 耕種的防除

抵抗性品種

虫害抵抗性は打破される

# 殺虫剤使用の問題と他の手法への転換の必要性

## 現状：殺虫剤による防除と限界

- ・ 日本では1920年代から農薬使用開始
- ・ 1960年代以降、害虫防除の主体は**殺虫剤**



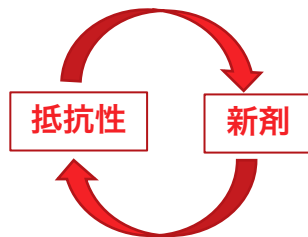
### メリット

- ・ 安価
- ・ 誰でも同じ効果

### デメリット

- ・ **抵抗性発達**
- ・ 開発コスト増大
- ・ **環境に対する悪影響**
- ・ 健康被害

終わらない  
「**いたちごっこ**」



3-4年で抵抗性が  
発達することも

新剤開発数は  
年々減少

## 目標：持続的な防除法への転換

これまでの約100年にわたる  
**化学農薬主体の防除法からの脱却**

これまでにない

- ・ 抵抗性発達が起こらない技術
- ・ 誰でも、どこでも、いつでも  
使える技術

が求められる

つまり

- ・ 害虫を寄せ付けない
- ・ 圃場内の害虫を確実に殺虫
- ・ 侵入害虫の根絶を可能にする  
技術

# 先端的な物理手法と未利用の生物機能を駆使した害虫被害ゼロ農業の実現

PM：日本 典秀（京都大）

PM補佐：植原 健人（農研機構）

物理的防除

青色レーザーによる殺虫技術の開発

- PI：堀 雅敏（東北大）

- 参画機関：東北大、大阪大、東京農工大、農研機構

オールマイティ天敵作出のための分子基盤の解明と制御技術の開発

- PI：石川 幸男（摂南大）

- 参画機関：京都大、摂南大、東京農工大、農研機構、東京農大

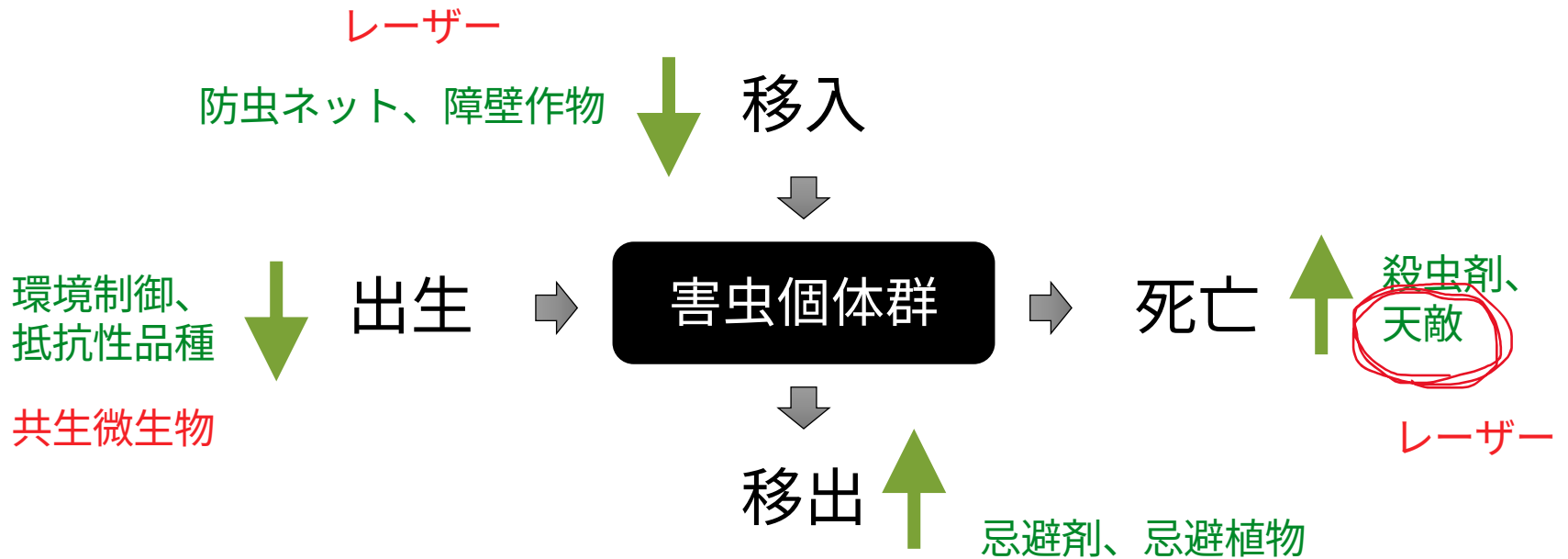
生物的防除

共生微生物を用いた不和合虫放飼法・病害媒介虫無害化技術の開発

- PI：石川 幸男（摂南大）

- 参画機関：農研機構、摂南大、慈恵医大

# 害虫管理

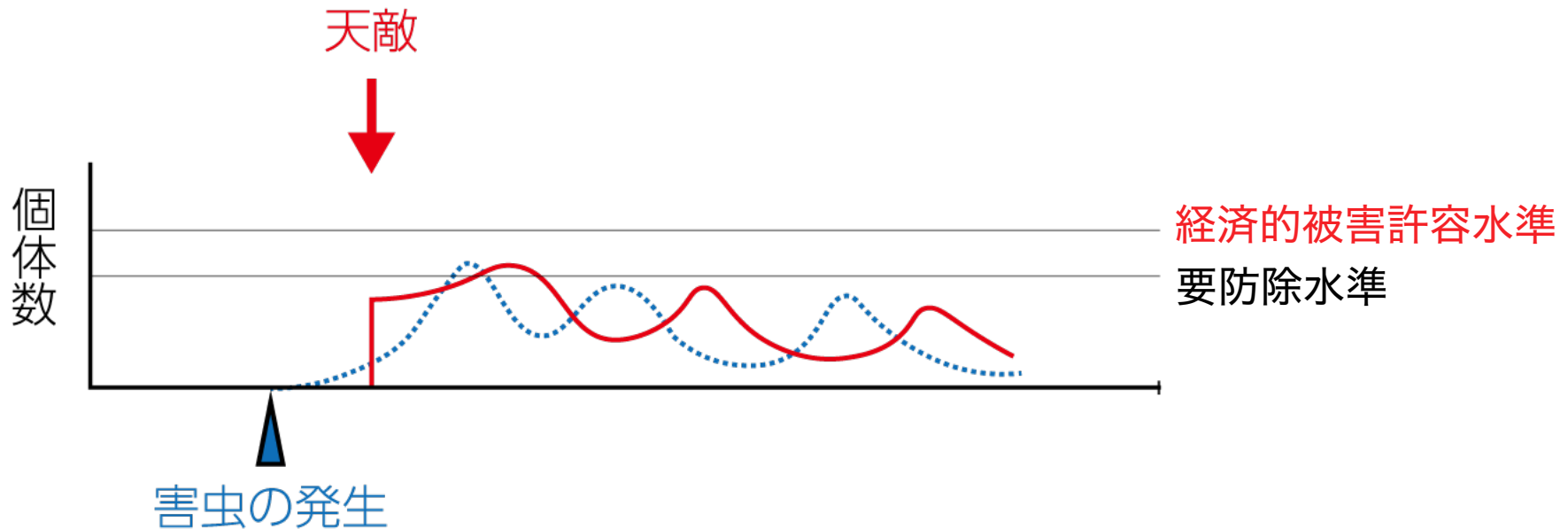


IPM



# なぜ 害虫被害ゼロか？（害虫ゼロでなく）

- ❷ 天敵を用いた「生物的防除」では、害虫が居なくなると、天敵も餌がなくなり死滅する。
- ❷ 害虫は、1匹で害虫になるわけではない。経済的被害が出ない程度に密度を抑制すれば良い。



# なぜ 害虫被害ゼロか？（害虫ゼロでなく）

- ❷ 天敵を用いた「生物的防除」では、害虫が居なくなると、天敵も餌がなくなり死滅する。
- ❷ 害虫は、1匹で害虫になるわけではない。経済的被害が出ない程度に密度を抑制すれば良い。

生物多様性と農業生産の両立



生態系の再構築

# プロジェクト全体概要

## 問題点

### 殺虫剤主体の害虫防除

#### 開発コスト

- ・すぐに抵抗性が発達
- ・新材開発が追いつかない

#### 作業コスト

- ・頻繁な農薬散布
- ・大規模農業への障害

#### 環境影響

- ・生物多様性への懸念

## 開発方向

### 化学農薬に依存しない 革新的な防除法の開発

#### 先端的な物理手法 + 未利用の生物機能

- ・レーザー
- ・音波、振動
- ・共生微生物
- ・オールマイティ天敵

## 2050年

### 害虫被害ゼロ農業 の実現

- ・防除のことを考えずに済む農業体系
- ・食料供給の拡大と地球環境保全の両立



# プロジェクト全体概要：ステップ1

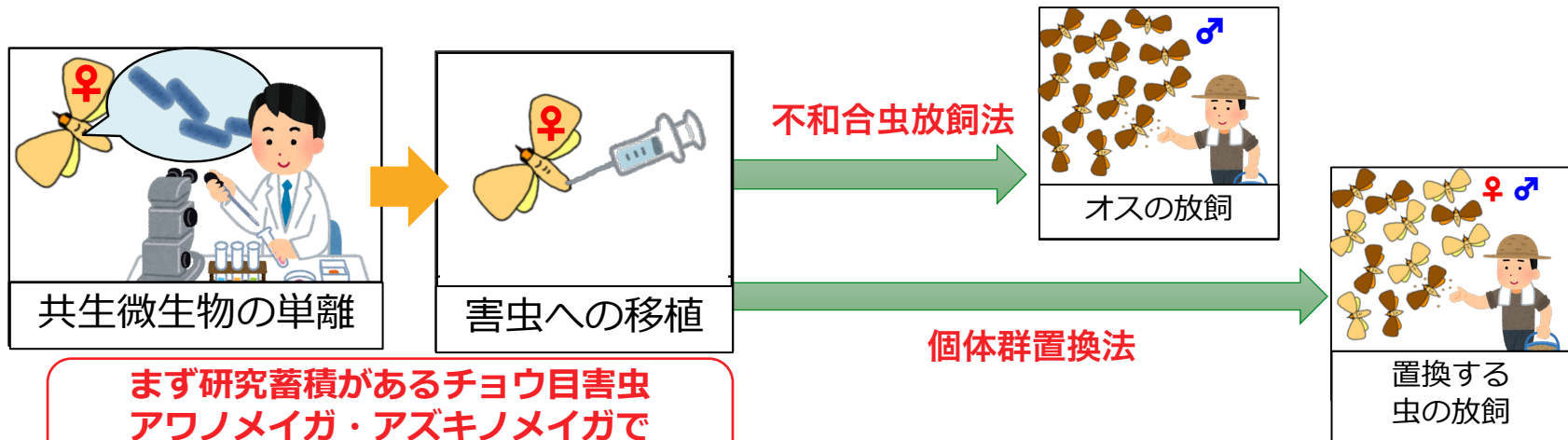
まず広域で害虫密度を低下させる



# 共生微生物を用いた不和合虫放飼法の開発

未利用だった共生微生物を利用した画期的防除法

昆虫の生殖を操作する共生微生物を利用した全く**新しい害虫根絶技術を開発**（不和合虫放飼法）  
微生物が**病害ウイルスの媒介**を阻害する働き等を利用して、**世界初の**  
**画期的な病害媒介虫無害化技術・益虫強化技術を開発**（**個体群置換法**）



まず研究蓄積があるチョウ目害虫  
アワノメイガ・アズキノメイガで  
技術を確認し、汎用化を進める

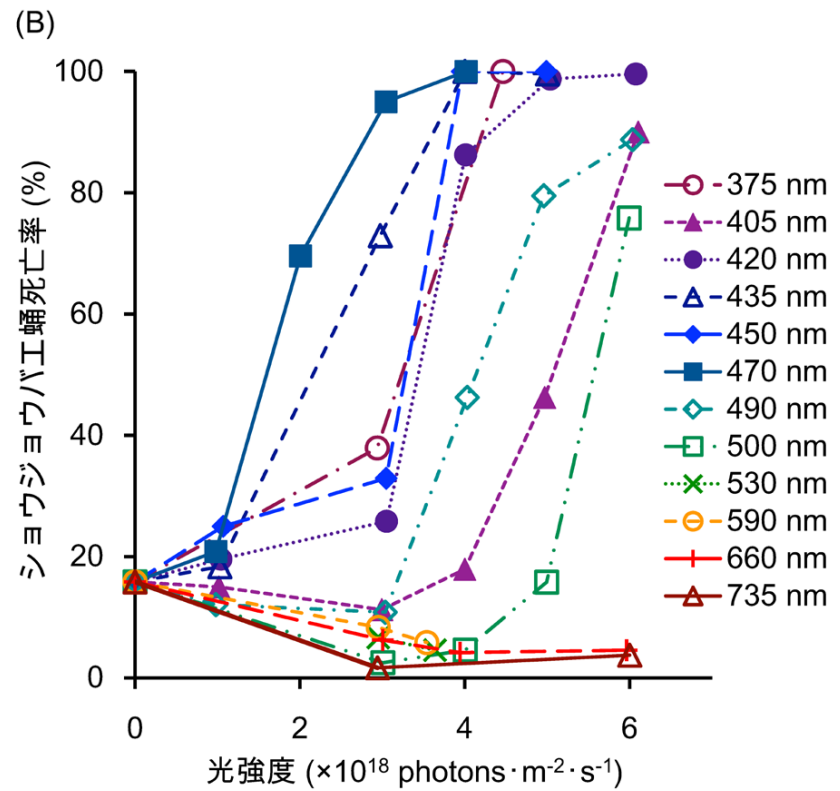
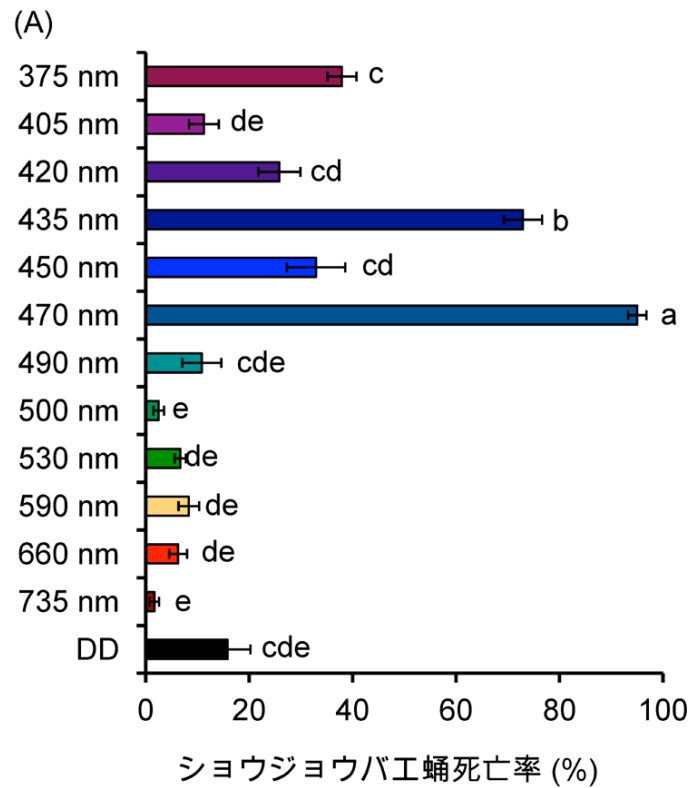
# プロジェクト全体概要：ステップ2

次に、圃場に侵入してくる個体を迎撃



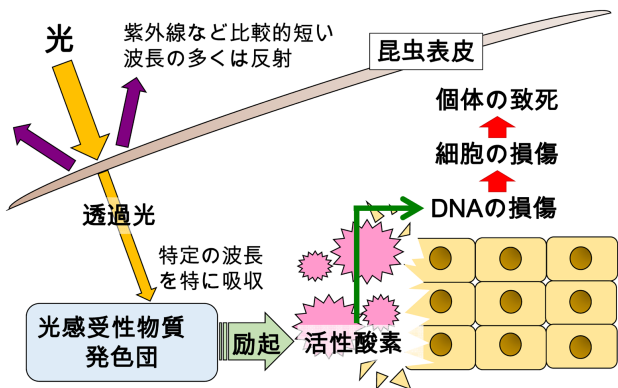
# 青色光による殺虫

## 各種波長の殺虫効果



# 青色光による殺虫

## 推測される青色光の殺虫メカニズム



## 青色光の殺虫効果が確認されている害虫種

害虫種	効果が確認されている 発育段階
<b>【農業害虫】</b>	
ハエ目	アシグロハモグリバエ 蛹
	トマトハモグリバエ 卵, 蛹, 成虫
	チビクロバネキノコバエ 卵, 蛹, 成虫
コウチュウ目	イチゴハムシ 卵, 蛹
アザミウマ目	ミカンキイロアザミウマ 卵
<b>【貯蔵・食品害虫】</b>	
コウチュウ目	ヒラタコクヌストモドキ 蛹
チャタテムシ目	ヒラタチャタテ 卵, 成虫
<b>【衛生・不快害虫】</b>	
ハエ目	キイロショウジョウバエ 卵, 幼虫, 蛹, 成虫
	チカイエカ 卵, 幼虫, 蛹, 成虫
	オオショウバエ 卵, 幼虫, 蛹, 成虫

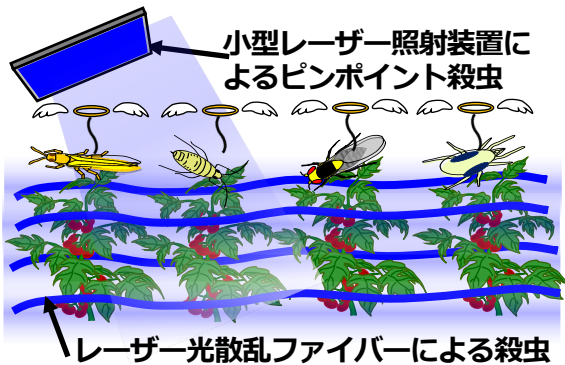


# 青色LD(半導体レーザー)照射による微小害虫の強力な殺虫技術の開発 飛翔害虫の3次元検知・追尾・狙撃技術の開発

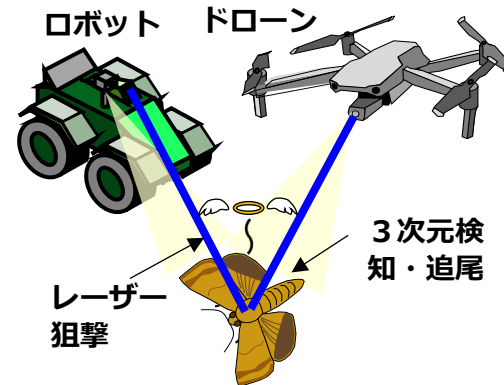
- ・青色LDで誘起される活性酸素を利用し、光を集積・拡散させることで、強力な殺虫
- ・可視光レーザースキャン(3D-LiDAR)で害虫を3次元で検知・追尾し高強度レーザーで殺虫  
→ これらを組合わせて世界初のピンポイントの農業害虫の殺虫・検知・撃退技術を開発

高度なレーザー制御で害虫を駆除する画期的技術

ターゲット：ハダニ類、ハモグリバエ、アザミウマ類など微小害虫



ターゲット：オオタバコガ、ハスモンヨトウで開始



# 早く複雑に飛ぶ昆虫を、いかに捉えるか？



画像認識 → 照射 のタイムラグを考慮して数コマ先を予測しなくてはならない

# ステレオカメラで飛ぶガを撮影



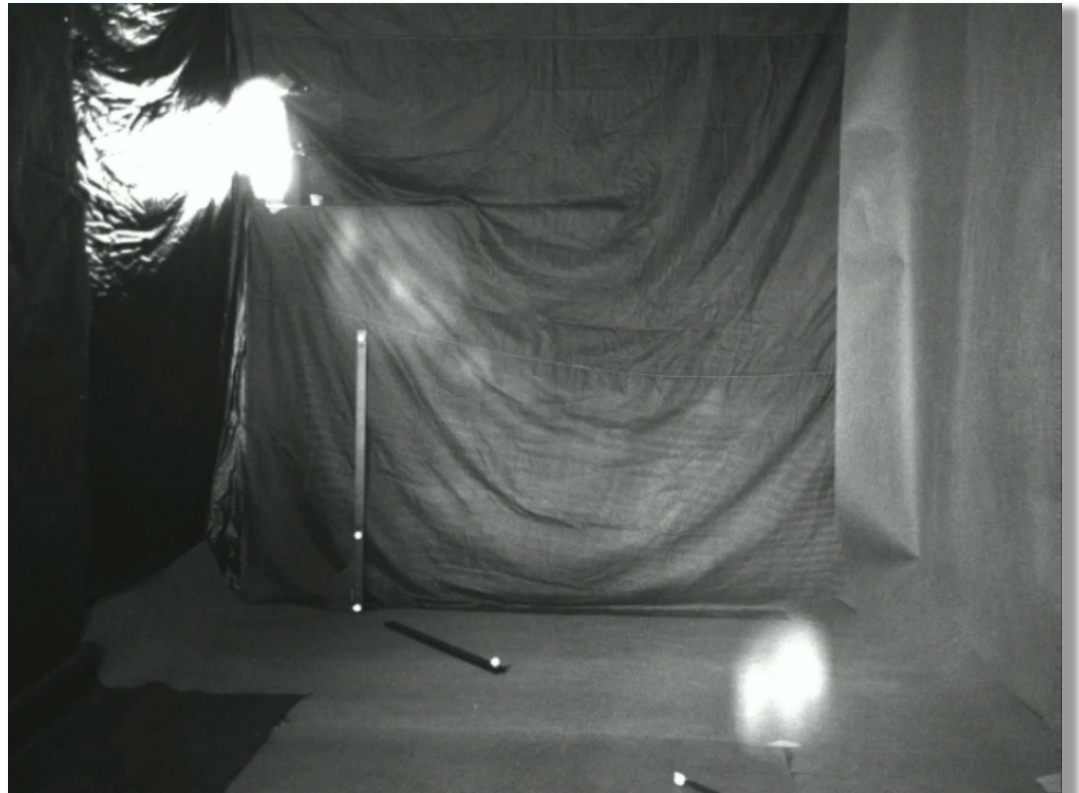
ステレオカメラ

1024x768 pixel, 55 FPS

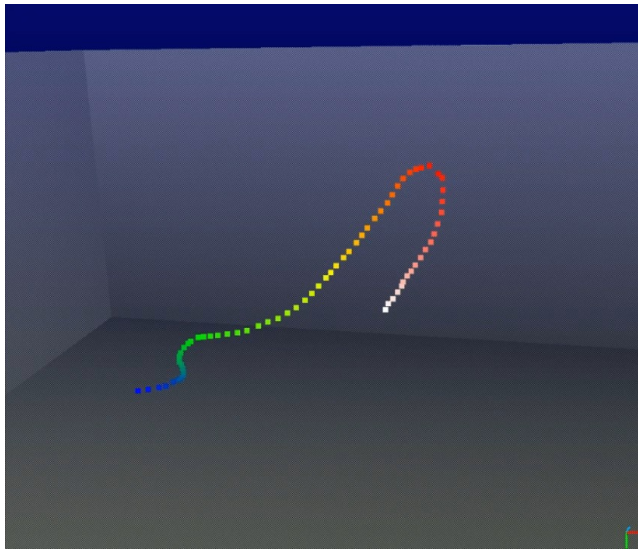


重要害虫 ハスモンヨトウ

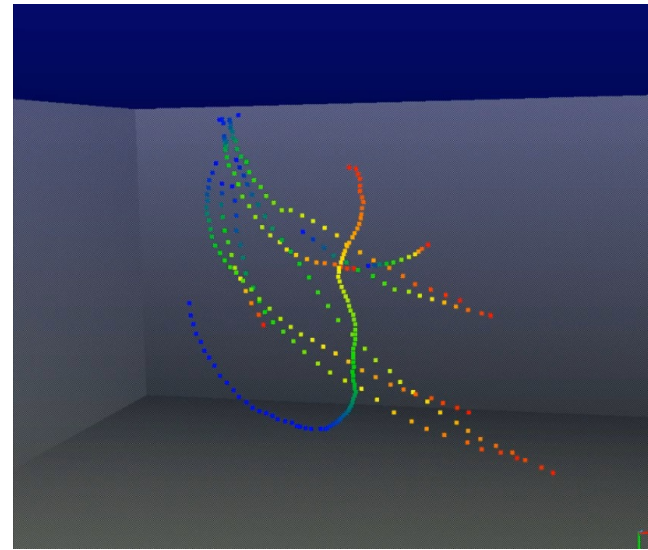
体長 15-30 mm  
飛翔速度 0.5-1.0m/s



# 飛翔位置の予測



Single moth



8 moths

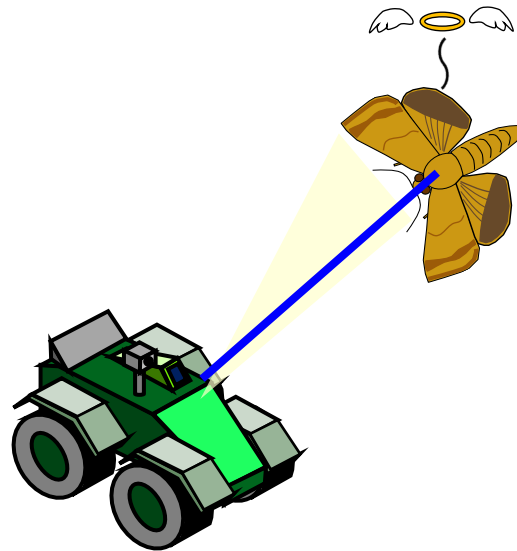
画像処理→レーザー照射に必要なタイムラグを解消するために、  
飛翔経路を解析して2コマ先（0.03秒）の飛翔位置を予測

# シミュレーション画像



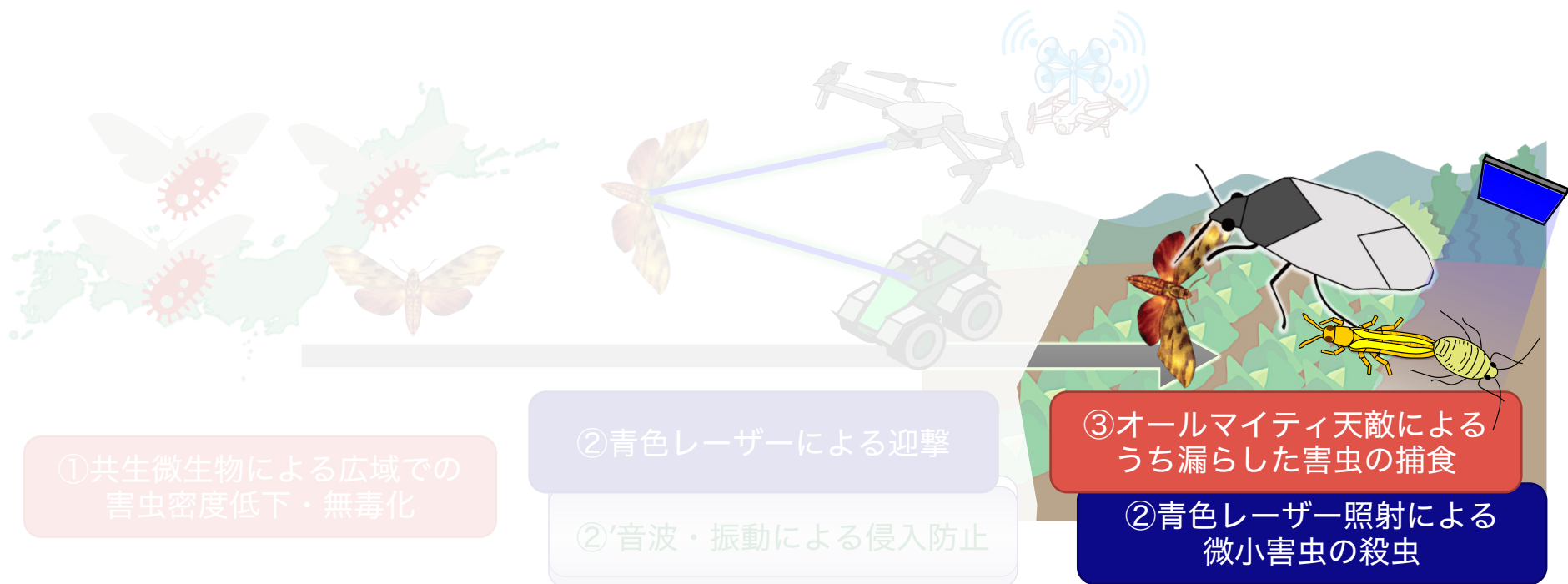
# 青色レーザーによる害虫追尾・狙撃技術

- ❷ 低出力
- ❷ 対象種のみを認識
- ❷ 弱点をピンポイントで狙撃



# プロジェクト全体概要：ステップ3

それもくぐり抜けた害虫や、微小害虫は  
天敵とレーザー照射で制御



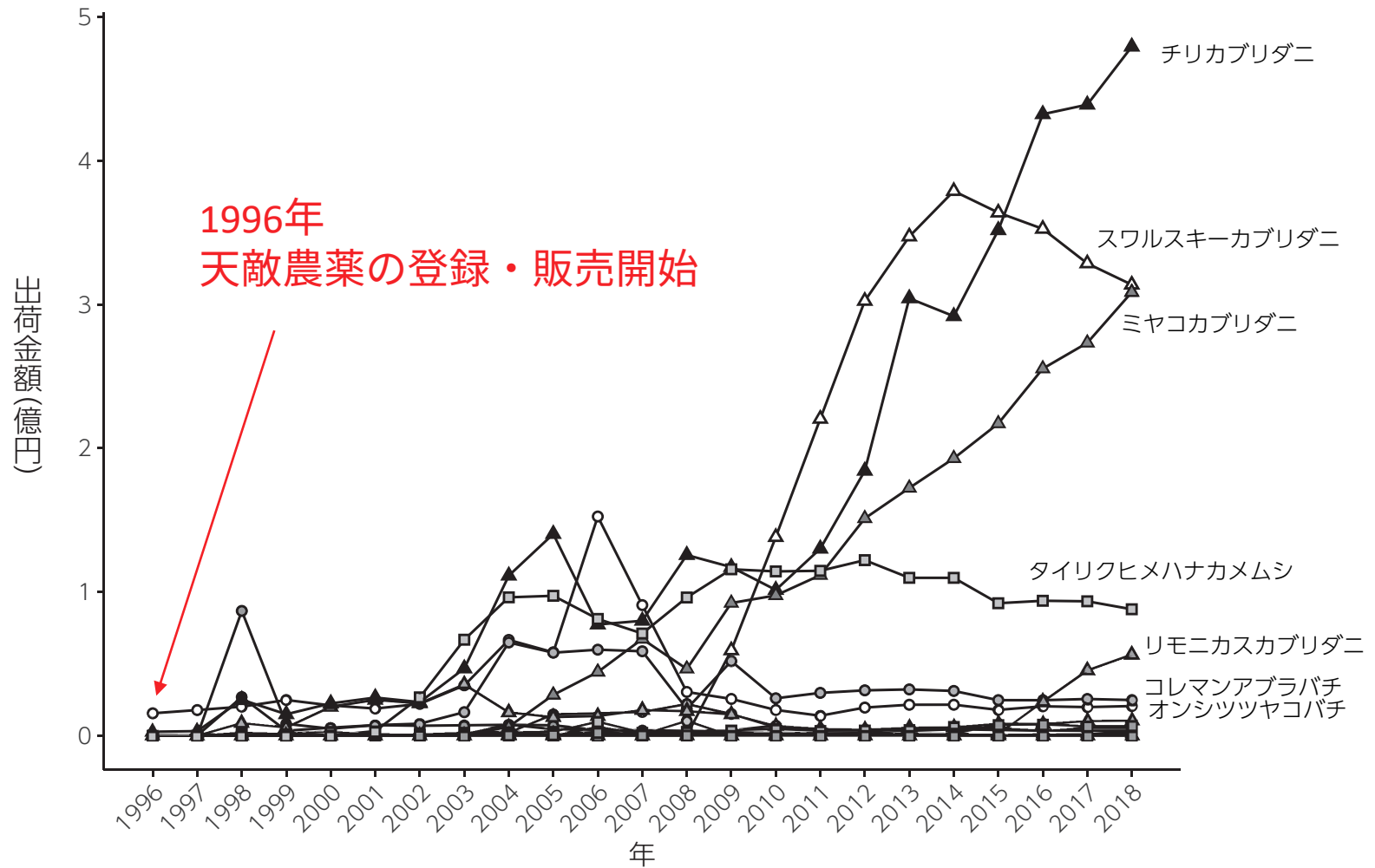
# 天敵とは？

害虫を食べたり、寄生したりして殺す生物





# 天敵農薬の出荷金額の推移



# 天敵利用における問題点の一例

- ✓ 餌（=害虫）が居ないと定着しない

（既存の解決法）

代替餌を用いた「バンカー法」



行動制御が難しい

捕食性昆虫での実用化は少ない

飛ばない系統の育種



育種に時間がかかる

次世代は広がってほしい

- ✓ 複数の害虫に、それぞれ天敵を用いなくてはならない
- ✓ 害虫のほうが低温に強く、春先に害虫が先に出現

（既存の解決法）

化学農薬との併用



結局は化学農薬依存

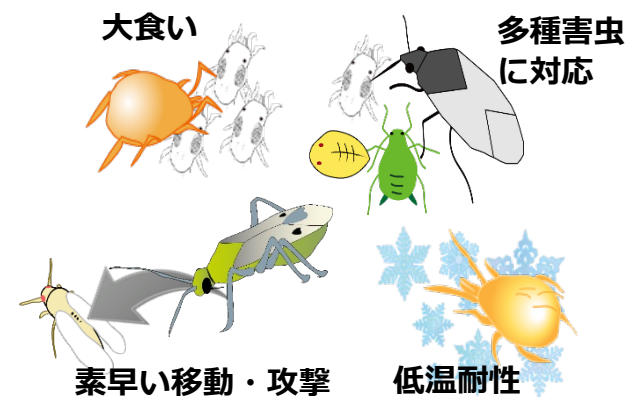
天敵を使いこなすには、経験と技が必要

# オールマイティ天敵作出のための分子基盤の解明と制御技術の開発

- 1) 天敵の移動性・活動性を遺伝的に制御して、翅のない天敵、大食い天敵を作出。定着性と捕食能力を増強  
選好性のスイッチング制御でバンカー法の効率化も可能に
- 2) 過酷な環境下（低温など）でも活動でき、害虫を安定的に制御可能な天敵を作出。天敵の利用場面を飛躍的に向上

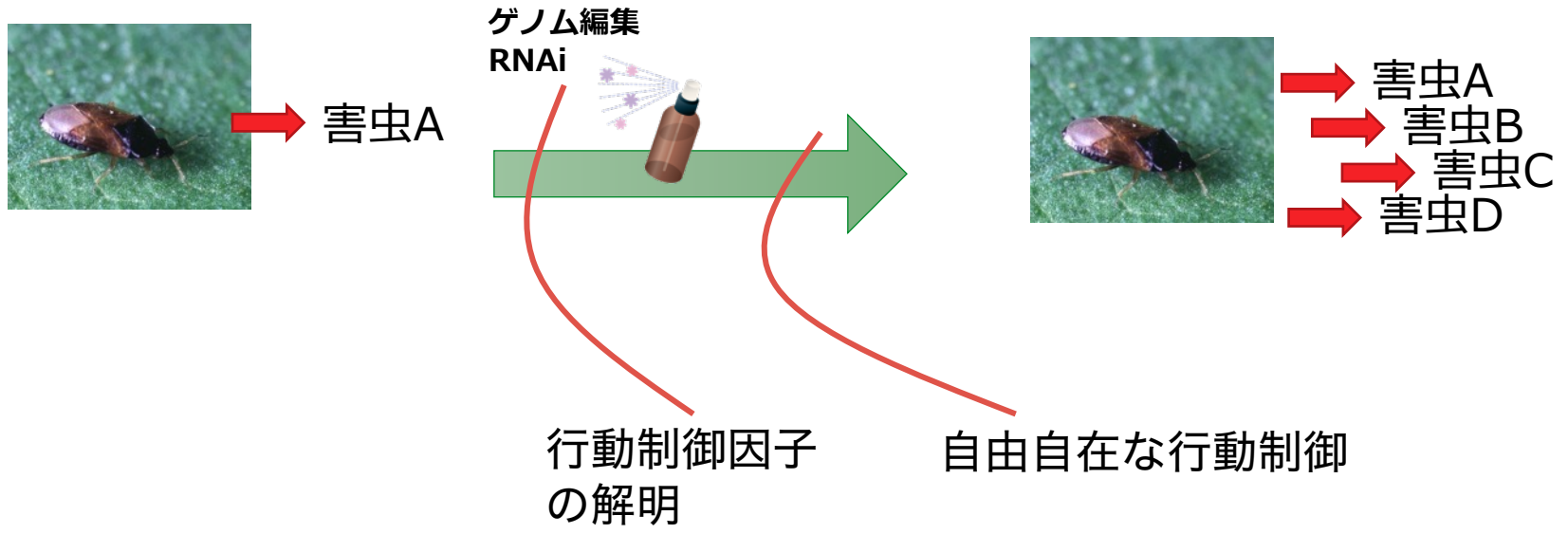
※バンカー法：栽培施設内に天敵を維持・増殖するための植物を置いて天敵の効果を高める方法

従来の「育種→効果確認」から「効果確認と育種の同時進行」への流れの大転換そして、なし得なかった天敵の自在な行動制御



行動・利用に関して研究蓄積がある野菜に対する捕食性カメムシ類（ヒメハナカメムシ類、タバコカスミカメ）、カブリダニ類で研究を実施

すべての微小害虫をカバー可能



# 天敵課題の対象天敵

- 重要害虫の捕食者→いろんな害虫を食べる
- 定着性の向上、過酷な環境での生存率、捕食量の少なさがボトルネック

ゲノム編集やRNAiで改善



タイリクヒメハナカメムシ



ヒメカメノコテントウ



ミヤコカブリダニ

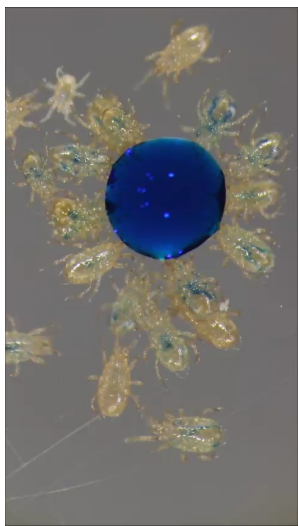


タバコカスミカメ

# カブリダニのRNAi

## RNAiは効いている！

**PLOS ONE**  
 OPEN ACCESS PEER-REVIEWED  
 RESEARCH ARTICLE  
 Oral delivery of water-soluble compounds to the phytoseiid mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae)  
 Noureldin A. Ghazy, Takeshi Suzuki

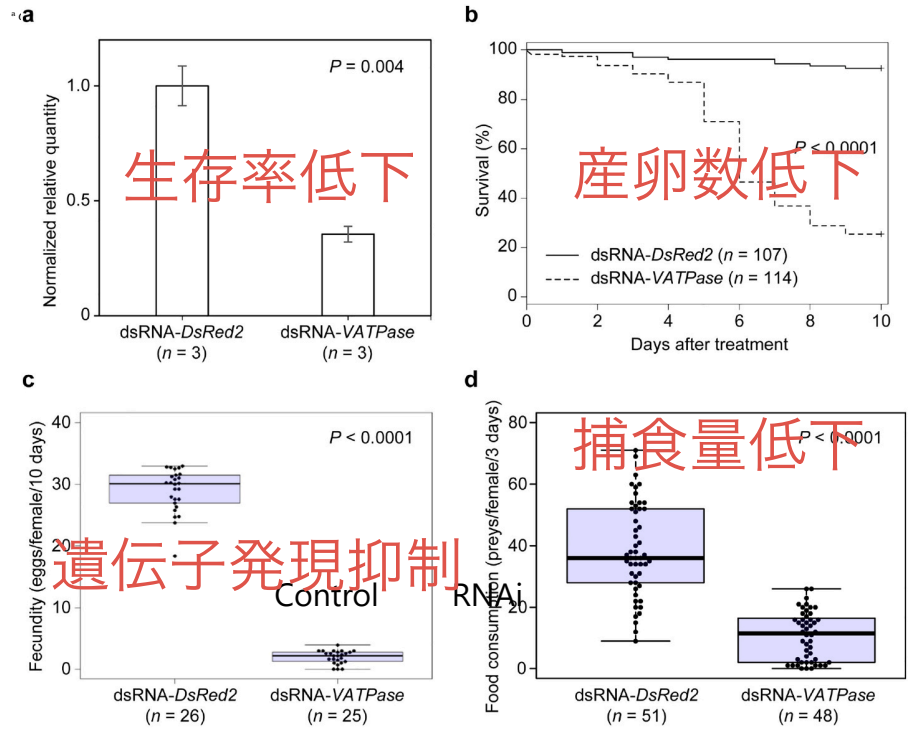


Ghazy and Suzuki (2019)

Contents lists available at ScienceDirect  
**Pesticide Biochemistry and Physiology**  
 ELSEVIER  
 journal homepage: [www.elsevier.com/locate/pest](http://www.elsevier.com/locate/pest)

Environmental RNAi-based reverse genetics in the predatory mite *Neoseiulus californicus*: Towards improved methods of biological control

Noureldin Abuelfadl Ghazy<sup>a,b,c,\*</sup>, Takeshi Suzuki<sup>a,d,\*</sup>



Control RNAi

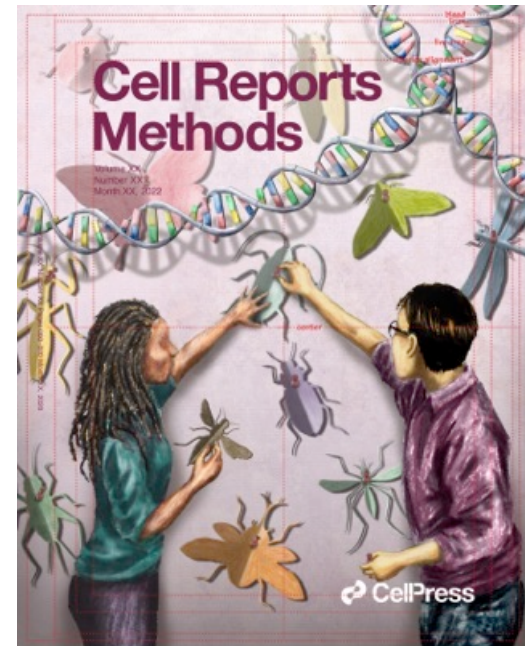
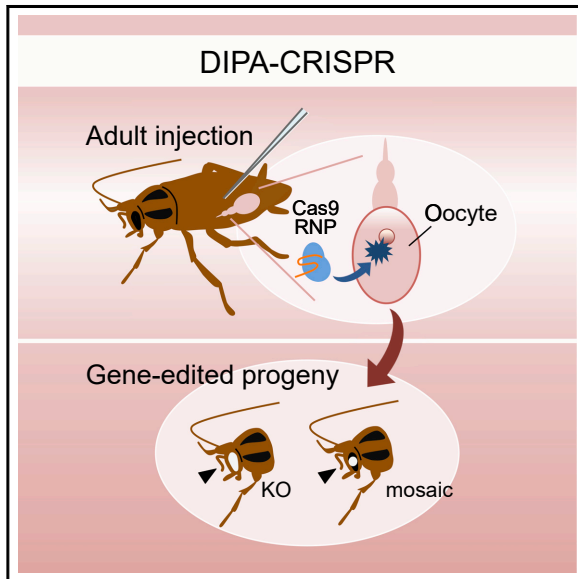
# 新たなゲノム編集法の開発

Cell Reports  
**Methods**

Report

**DIPA-CRISPR is a simple and accessible method for insect gene editing**

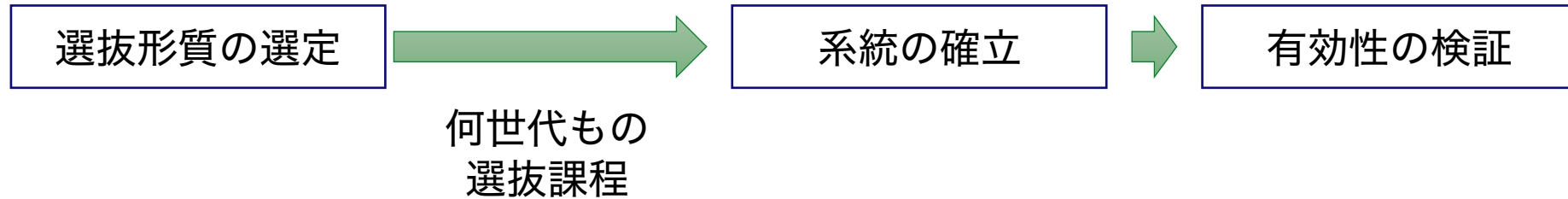
Graphical abstract



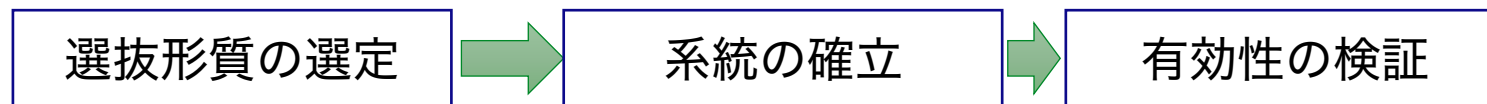
Shirai et al. (2022) Cell Rep Methods

# 従来の育種とゲノム育種

## 従来の天敵育種



## ゲノム育種



すぐにできる！  
色々試せる！

天敵育種の加速化

# 天敵のRNAiやゲノム編集で何ができるか

## ゲノム編集天敵による天敵機能解明



- ・ マーカー育種による優良系統選抜の加速化
- ・ 自然界に存在する天敵の行動制御

## RNAi給餌装置の開発による圃場レベルでの遺伝子改変



- ・ 次世代に残らない技術
- ・ 好きなときに利用



# プロジェクト全体概要

2025年まで

まず施設野菜で  
実用化



2030年

露地作、果樹など  
に展開



2050年

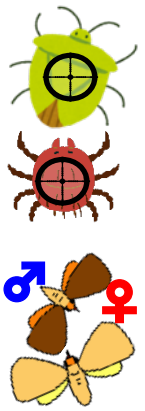
**害虫被害ゼロ農業  
の実現**

- ・防除のことを考えずに済む農業体系
- ・食料供給の拡大と地球環境保全の両立



# ムーンショットにより実現する未来社会

## ムーンショットで行う研究開発



物理的な害虫の検知・追尾・忌避・殺虫技術  
生物機能を利用した害虫根絶技術、病害媒介虫無害化技術、オールマイティ天敵の作出

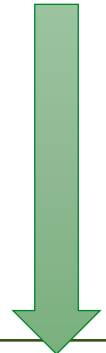
薬剤抵抗性発達が著しい害虫等の難防除害虫が主なターゲット

## 他の研究開発



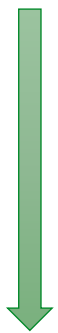
害虫診断・発生予察技術  
天敵利用による生物的防除  
抵抗性品種の利用

組合せ



技術内容に応じて幅広い害虫をターゲットに研究開発

2025年  
2030年  
2040年



真のIPMで、あらゆる害虫の防除に順次展開

**SFCへの貢献**  
害虫の根絶で農産物の輸出拡大

**SDGsへの貢献**  
農薬使用削減で生物多様性増大

**Society 5.0の実現**  
自律型の害虫駆除ロボットの開発

2050年 本来の自然生態系・生物機能を最大限に活用した害虫防除により持続的で被害ゼロの農業生産を実現

# MS505 IPM



ご清聴ありがとうございました

