

## Grimm 1999, Ecomod:, tổng quan mười năm đầu tiên về IBM.

### Thuật ngữ dùng trong bài

#### State variable model

State variable model (mô hình biến trạng thái) > The state variable model of a dynamic system comprises first-order ODEs that describe time derivatives of a set of state variables. > The number of state variables represents the order of the system, which is assumed to match the degree of the denominator polynomial in its transfer function description.

Mô hình biến trạng thái là mô hình của một hệ động lực mà gồm những phương trình vi phân cấp một, thể hiện sự thay đổi theo thời gian của một tập các biến trạng thái. Số lượng các biến trạng thái là cấp bậc của hình. Con số này được giả định là trùng với cấp của đa thức mẫu số trong *hàm biến đổi của nó*?

### Giới thiệu

Mô hình dùng những cá nhân làm đơn vị nhỏ nhất được sử dụng trong mô hình sinh thái từ những năm 1970, nhưng chỉ có duy nhất một bài viết tổng quan của Huston 1988 có sự phân định rõ ràng cho Individual-based-model (IBM).

Cụm từ “IBM” nói về những mô hình mà phân biệt từng cá thể nhưng một thực thể mà có ít nhất một thuộc tính (ngoài tuổi) thay đổi trong vòng đời của nó, ví dụ như: cân nặng, thứ bậc xã hội... Bài báo của Huston năm 1988 đã dẫn sự tăng theo cấp số mũ trong số lượng nghiên cứu được công bố mỗi năm sử dụng mô hình IBM. Nghiên cứu của họ đã chứng minh rằng “trong thế kỉ tiếp theo, chúng ta sẽ thấy được sự phát triển vượt trội của cách tiếp cận này”. Nhưng còn luận điểm rằng “IBM sẽ thống nhất lý thuyết hệ sinh thái” thì sao? Điều này chưa từng được làm rõ trong những bài viết tổng quan. Những bài reviews trước đó thường tập trung vào tiềm năng của IBM và đưa ra tổng quan chung của những mô hình IBM hiện có.

Vì lý do trên, tác giả xây dựng một bài viết tổng quan nhỏ về những nghiên cứu sử dụng IBM để mô hình động vật mà được công bố trong thập kỉ vừa qua. Nhưng thay vì liệt kê và tóm tắt những kết quả đạt được trong mỗi mô hình, tác giả tập trung vào việc *chúng ta đã học được gì để có thể áp dụng vào vấn đề của lý thuyết sinh thái nói chung*, ví dụ như *regulation* và *persistence*. Kết quả chính của nghiên cứu tổng quát này là một lý thuyết chung mà chưa được đột sinh từ những mô hình IBM; một phần vì những mô hình hiện tại chưa được phân tích dưới góc độ của vấn đề lý thuyết sinh thái nói chung, một phần vì triết lý “ngây thơ” của mô hình IBM. Những nhà nghiên cứu hy vọng rằng, một khi các cá thể đã chuyên biệt ở một mức nào đó, những hệ quả ở mức quần thể và cộng đồng sẽ nảy sinh một cách tự nhiên. Mặc dù còn quá sớm để hi vọng điều này, nghiên cứu của DeAngelis và các cộng sự (1994) đã nhận định: > Những mô

hình được sử dụng cho tới hiện tại vẫn còn bị giới hạn và máy móc hơn nhiều so với những gì được hy vọng.

Trong nghiên cứu này, tác giả sẽ so sánh ba nghiên cứu sử dụng IBM từ rất sớm. Điều này sẽ cho thấy những khác biệt quan trọng trong động lực để sử dụng IBMs. Từ những động lực này, tác giả đưa ra các tiêu chí để đánh giá các nghiên cứu IBMs trong thập kỷ vừa rồi. Cuối cùng, tác giả xây dựng một danh sách những quy luật heuristic giúp thúc đẩy IBM phát triển một cách có chiến lược hơn.

Trong bài viết, tác giả sử dụng lối viết phê bình, nhưng tác giả tin rằng mô hình sinh thái cần IBM, và cũng không phê bình bất kỳ mô hình nào được nhắc đến. Tại thời điểm viết bài báo, tác giả khẳng định không có câu trả lời chi tiết cho câu hỏi trong tiêu đề rằng “chúng ta đã học được gì?”. Những người sử dụng IBM chắc chắn đều đã học được nhiều thứ từ mô hình của họ. Nhưng rất khó để nói điều mà lý thuyết sinh thái đã rút ra được một cách tổng quát từ những ví dụ này.

## Tại sao sử dụng IBM?

Có hai động lực “phụ thuộc vào nhau”: - Sự khác biệt giữa các cá thể không được tính đến trong mô hình sử dụng biến trạng thái (e.g. sự đa dạng cá thể); - Những lý thuyết được nảy sinh từ mô hình biến trạng thái có nhiều thiếu sót nghiêm trọng.

Động lực thứ nhất có thể được coi là động lực “thực tế” (pragmatic) vì nó nhấn vào sự thực tiễn mà IBM thêm vào trong bộ công cụ mô hình sinh thái. Động lực thứ hai có thể được gọi là “mẫu hình” (paradigmatic) vì nó nhấn vào những vấn đề chưa ổn trong lý thuyết mô hình sinh thái cổ điển.

Pragmatic IBM nghiên cứu những vấn đề mà không thể nghiên cứu được với biến trạng thái, ví dụ như sự đa dạng kích cỡ của độ cạnh tranh thực vật. Dù IBM với động lực pragmatic vẫn hướng đến những vấn đề lý thuyết, những vấn đề lý thuyết mà những mô hình này giải thích được rất là hẹp. Không có điểm nổi nào được dẫn dắt tới những vấn đề trọng yếu của lý thuyết mô hình sinh thái cổ điển (regulation, persistence, resilience, density-dependence).

Ngược lại, động lực Paradigmatic, nói rằng những gì chúng ta học được từ mô hình trạng thái để áp dụng cho lý thuyết sinh thái nói chung, cần được xem xét lại với một ngữ cảnh khi sự rời rạc, độc lập, biến thiên của cá thể được tính đến. IBM được xây dựng với động lực paradigmatic do đó được nghiên cứu sử dụng những khái niệm và bài học từ lý thuyết sinh thái cổ điển.

Sự phân biệt giữa pragmatic và paradigmatic không phải sự phân biệt giữa các loại mô hình, mà là sự phân biệt giữa các loại động lực đằng sau các mô hình. Sự phân biệt này chỉ mang tính định tính, nhưng trong bài review, tác giả cho thấy chúng có thể được định lượng tới một mức nào đó. Dù hai động lực này không mẫu thuẫn nhau, nó tạo ra sự khác biệt trong việc áp dụng IBM, chẳng như sự khác biệt về kết quả nổi bật lên từ IBM. Để cho thấy sự khác biệt giữa

pragmatic và paradigmatic, tác giả so sánh ba bài nghiên cứu sử dụng IBM từ sớm.

#### **Bài báo của Deangleis với động lực pragmatic:**

- IBM được chọn vì hệ không thể được mô hình hoá bởi mô hình biến trạng thái
- Vấn đề cần giải thích cấu trúc kích cỡ của young of the year largemouth bass
- Cá thể có thể chọn chuyển sang ăn thịt đồng loại
- Mô hình coi trọng những quá trình liên quan tới cá thể:
  - CHết tự nhiên
  - Sinh trưởng
  - Ăn
  - Ăn thịt đồng loại
- Model được dùng để predict kết quả của một thí nghiệm cùng loại, tạo ra kết quả mẫu khá tốt
- Model giúp tạo ra một dòng các model về cá: giúp đưa thêm một thứ vào hộp công cụ của người mô hình hóa, không phải phê bình những lý thuyết cổ điển
- Quần thể động trong bài báo cân nhắc tới cỡ trong quần thể thay đổi trong thời gian ngắn (50 ngày), trong khi với mô hình cổ điển, thường là gian dài (thế hệ)
- Những mô hình sinh thái về kích cỡ của thực vật có điểm tương đồng với cá, vì quá trình ánh xạ từ quần của một jthế hệ tới thế hệ sau không được hiểu rõ

#### **Mô hình của Lomnicki (1978) với động lực paradigmatic**

- Model không hẳn là IBM, mà là mô hình trạng thái với đưa sự khác biệt cá thể vào
- Model đưa ra một phê bình cho hướng tiếp cận trạng thái:
  - Giả định rằng mọi cá thể đều bị tác động giống nhau bằng cách tăng mật độ quần thể không đồng nhất với những chứng cứ được đưa ra, dẫn tới việc lý thuyết sinh thái đi vào ngõ cụt.
  - Dùng giả thiết này, mật độ quần thể thông thường không thể giải thích bằng chọn lọc cá thể
- Mô hình thể hiện sự không đồng đều giữa tài nguyên cho các cá thể, dẫn đến những bất đồng trong thứ bậc
- Lomnicki cho rằng sự phân hóa tài nguyên là quá trình cho phép các quần thể duy trì và dao động quanh điểm cân bằng
- Mặc dù bác bỏ giả định về phân bố tài nguyên, Lomnicki vẫn dùng lý thuyết cổ điển:
  - Điểm cân bằng
  - Thuộc tính cân bằng
- Động lực này bác bỏ một số giả định của mô hình cổ điển, nhưng vẫn dùng

những lý thuyết cổ điển để phân tích mô hình

**Mô hình của Kaiser (1979) với cả động lực pragmatic và paradigmatic (TODO)**

### **Minireview về những nghiên cứu IBM được xuất bản trong thập kỉ**

Trong review này, tác giả sẽ chỉ cần nhắc tới những IBM nghiên cứu tương tác giữa các quần thể động vật, vì những mô hình với động thực vật đã đi theo một con đường có vẻ khác. Những mô hình IBM với thực vật được review trong *Foord and Sorrensen (1992)*, *Shugart et al (1999)* và *Wyszomirski et al (1999)*.

Trong cơ sở dữ liệu của tác giả có 175 bài nghiên cứu (trong thập kỉ) sử dụng IBM, trong đó có 71 bài nghiên cứu không được tính đến vì chúng không đề cập tới một mô hình cụ thể, hoặc không phải bài nghiên cứu về mô hình sinh thái; có 54 nghiên cứu có vẻ phù hợp để review, nhưng tác giả không có quyền truy cập. Do đó, còn lại khoảng một nửa trong những bài nghiên cứu trong CSDL được chọn cho mini review.

Những bài báo sẽ được nghiên cứu để trả lời các câu hỏi/tiêu chí trong bảng:

Tiêu chí	Mô tả
Taxonomic group	Loại động vật được mô tả trong mô hình là gì
Loài cụ thể	Mô hình có được thiết kế cho/có động lực nghiên cứu một loài cụ thể hay không?
Mô hình cổ điển	Nghiên cứu có đề cập/trích dẫn tới mô hình cổ điển (mô hình biến trạng thái hay không)?
Khung lý thuyết cổ điển	Nghiên cứu có dùng lý thuyết cổ điển trong mô hình sinh thái để phân tích mô hình hay không?
Dựa trên mẫu hình	Nghiên cứu có thiết kế mô hình dựa trên một mẫu hình trong tự nhiên hay không?
Tính động của quần thể	Vòng đời của các con vật được lặp lại nhiều lần?
Tính động của nhóm	Mô hình có nghiên cứu tính động của một nhóm quần thể trong một nhóm tuổi nào đó trong một phần của vòng đời hay không?
Tài nguyên hiện	Tài nguyên (thức ăn) có được xem xét một cách trực tiếp hay không?

Tiêu chí	Mô tả
Tài nguyên động	Tính động của tài nguyên (thức ăn) có được xem xét một cách trực tiếp hay không?
Tính động cá thể	Tính động của cá thể có được xem xét hay không?
Dấu hiệu mạnh	Mô hình có được phân tích với những hoàn cảnh mạnh (ví dụ như trường hợp nhân tạo mà không xảy ra trong tự nhiên)
Bộ các mô hình	Nghiên cứu có bộ hợp các mô hình mà có phân biệt rõ ràng với nhau hay không?
Thẩm định	Việc thẩm định mô hình có được cho là một phần của vấn đề không?
Số lượng tham số	Số lượng tham số mà mô hình có
Động lực	Mô hình có động lực pragmatic hay paradigmatic?

## Một số quy luật để lý thuyết hóa

Minireview chỉ ra hai vấn đề để khắc phục:

- Liên hệ giữa IBM và mô hình lý thuyết
- Chiến thuật chung để xây dựng và phân tích những mô hình mô phỏng

Do đó trong phần phần này tác giả đưa ra một số quy luật heuristic về triết lý khi xây dựng IBM.

### IBM là modelling

- Kaiser (1979): IBM ngây thơ ở việc, nó dựa trực tiếp vào dữ liệu thu được và quan hệ giữa chúng
- Việc chỉ đơn thuần đưa vào mọi thứ và mong những thông tin cần thu thập sẽ đột sinh dựa trên tương tác sẽ không hoạt động
- Dù những công cụ và giả định trong mô hình IBM và mô hình trạng thái có thể khác nhau, quá trình chung của việc mô hình phải giống nhau.

### Giữ mô hình càng đơn giản càng tốt

- Mỗi tham số của mô hình tăng thêm độ phức tạp và làm ta khó hiểu được mô hình làm gì
- Những người có chuyên ngành đặc thù (eg. sinh học) có thể đưa rất nhiều chi tiết phức tạp vào 1 hoặc 1 vài tham số
- Trong trường hợp mô hình trạng thái, người mô hình buộc phải giới hạn lượng tham số, trong IBM điều này không đúng

- Các IBM có xu hướng lựa chọn nhiều tham số, mode 10-20, số đông là từ 10 tới 100.
- Cần lựa chọn loại tham số nào được đưa vào mô hình và loại nào không
- Trong các mô hình được khảo sát, ít có bài nghiên cứu nhắc tới vấn đề này; nhiều tham số được đưa vào chỉ với mục đích làm mô hình thêm “thực tế”.

### **Mục đích quan trọng nhất của mô hình hóa là tri thức**

- Khi mô hình đưa ra một quan hệ giữa trạng thái A và trạng thái B, không nên tin một cách mù quáng vào kết quả này, mà nên tìm hiểu rõ tại sao quan hệ này lại xảy ra.
- Nên kiểm tra lại để tránh các lỗi như: lỗi trong dữ liệu, trong giả định, trong tham số, thậm chí trong phần mềm mô phỏng
- Hiểu biết được mô hình của mình làm gì là điều kiện tối thiểu khi mô hình hóa
- Trong nhiều nghiên cứu IBM, mô hình là được tin tưởng sẽ dự đoán bất cứ thứ gì, ngược lại, một số tập trung vào phân tích độ nhạy và sai số
- Thống kê (phân tích nhạy và sai số) không đủ mang lại tri thức, đặc biệt trong những kịch bản nhân tạo.
- Anova là một kỹ thuật quan trọng để phân tích những mối quan hệ mà mô hình học được và hành vi của mô hình

### **Người mô hình hóa nên có mindset của người thử nghiệm**

- Một mô hình có thể coi là một hộp đen với những tay vặn cho phép điều chỉnh tham số, sau trực tiếp đưa ra các kết quả.
- Một nhà thử nghiệm sẽ cố dự đoán khi thay đổi tay vặn thì kết quả sẽ thay đổi như thế nào
  - Họ sẽ thử nghiệm với trường hợp khi một số yếu tố trong hộp đen bị loại bỏ hoặc coi là hằng
  - Nếu chưa hiểu cố đơn giản hóa mô hình
  - Nếu đạt được một mức hiểu biết cố định rồi, tăng mức độ phức tạp lên một chút và thử nghiệm tiếp
- Hướng đi của người thử nghiệm sẽ là thao túng những phần trong hộp đen để đạt được sự hiểu biết
- Chỉ một số mô hình IBM có mindset thử nghiệm:
  - Đa số đặt trọng tâm vào việc làm cho mô hình “thực tế”
  - “khi đã tập trung vào sự thực tế, họ sẽ không muốn thiết kế những thử nghiệm mà chắc chắn không xảy ra” (Kaiser, 1979)
- Tuy nhiên, sự “thực tế” không có nghĩa là xấu, kể cả những mô hình phức tạp có thể được phân tích hiệu quả.

### **Mô hình với một mẫu hình có sẵn trong tự nhiên nếu có thể**

- Việc mô hình hóa những câu hỏi thông thường (“tại sao những loài cạnh tranh sống được cùng nhau?”) thường quan trọng với lý thuyết sinh thái, nhưng lại thường làm cho mô hình khó có thể được kiểm định:

- Mô hình đưa ra một lý giải chấp nhận được, nhưng không cho biết chuyện gì đã xảy ra?
- Nếu không mô hình câu hỏi, cần có một điểm khởi đầu mới
- Nếu được, mô hình nên nhắm tới xây dựng những mẫu hình có thể quan sát được trong tự nhiên
- Việc xây dựng theo mẫu hình không được đưa ra như một lý thuyết, nhưng có một số ưu điểm quan sát được bởi tác giả (Grimm 1996):
  - Thường dẫn tới những tri thức mới
  - Thường dễ kiểm thử hơn
  - Một số kết quả được dùng làm các kiến thức nền tảng cho các mô hình khác

### **IBM nên trích dẫn những lý thuyết mô hình cổ điển**

- IBM là mô hình theo hướng “từ dưới lên”:
  - Bắt đầu với mức độ thấp nhất của hệ là cá thể
  - Những cá thể được tương tác với nhau
  - Người mô hình quan sát với góc nhìn cao hơn, tới mức quần thể
- Chỉ tiếp cận từ dưới lên không đủ để đưa ra lý thuyết, vật lý và hóa học là hai ví dụ
- Hướng tiếp cận từ trên xuống bắt đầu từ mức quần thể:
  - Phát triển một khung chung có thể áp dụng được cho mọi loại quần thể
  - Do tính chung, chi tiết bị bỏ qua
  - “Xuống” có nghĩa lý thuyết được phát triển có thể áp dụng cho bất cứ loại quần thể nào
- Với hướng tiếp cận top-down, khó có thể kiểm thử vì không có sự liên hệ tới các cá thể
- Với hướng bottom-up, dễ kiểm thử nhưng lại không có một câu hỏi chung để hỏi ở mức quần thể  $\implies$  những câu hỏi này được cung cấp bởi khung nhận thức của các model top-down.
- Hai hướng tiếp cận này bổ trợ chứ không mâu thuẫn nhau
- Nếu không có các khung lý thuyết, IBM sẽ chỉ dẫn đến các kết quả rời rạc, không phải lý thuyết chung.
- Việc liên hệ tới kết quả lý thuyết có thể dễ dàng đạt được bằng việc so sánh kết quả của IBM tới những kết quả thu được từ phân tích mô hình trạng thái.
- Bất kỳ kết quả nào về sự liên hệ giữa hai hướng tiếp cận đều quan trọng, ví dụ như Fahse 1998 gợi ý rằng “sự chia cách về thang thời gian” là yếu tố quyết định để hiểu về quan hệ giữa hai hướng tiếp cận

### **IBM nên được phân tích với những công cụ của mô hình trạng thái**

- Giống như phần trước, nhưng đưa ra những cách ứng dụng
- Sự tồn tại của currencies:
  - Khả năng phục hồi (resilience)?

- Thời gian quay lại (return time)?
- Sự thay đổi của chuỗi thời gian?
- Sự bền bỉ (persistence)?
- Chúng có tăng giảm theo thời gian không? Chúng thay đổi như thế nào nếu như lượng cá thể thay đổi?
- Những công cụ lý thuyết (chủ yếu các khái niệm ổn định) nên được sử dụng nhiều hơn trong phân tích IBM
- Xem Fryxell and Lundberg (1997) để ví dụ cách sử dụng

### IBM có thể không dựa trên cá thể

- Khi mô hình hóa, người mô hình thường mượn ý tưởng từ các mô hình khác
- Nên cẩn trọng khi gán mác một mô hình là IBM
- Không có mô hình đúng hay sai, mọi mô hình đều sai, chỉ có mô hình hữu dụng hay không
- Lý do sẽ xác định cấu trúc của mô hình
- Do đó có nhiều mô hình không hoàn toàn IBM hay không hoàn toàn là trạng thái, nhưng hữu dụng trong một ngữ cảnh nào đó
  - Việc này khiến ta khó xác định hơn để nói lên sinh thái đã học được gì từ IBM
  - Một số hình chỉ quan tâm tới biến trạng thái và sự riêng rẽ của các cá thể mà không quan tâm tới những thuộc tính có thể thay đổi theo thời gian (Bolker and Pacala)
- Nên xem kỹ khi học tập ý tưởng từ những mô hình khác mà được gọi là IBM

### Thay đổi mức độ cụ thể (level of aggregation)?

- Tìm mức độ cụ thể phù hợp là tác vụ quan trọng
- Sự cụ thể phù hợp giúp mô hình hiệu quả với mục đích
- Các khái niệm up/down scale có thể có ích
- Việc scale up/down giúp ta học thêm về đánh đổi lợi ích và chi phí với mỗi mức độ cụ thể
- Trong thực tế, scale up thường không được dùng:
  - IBM thường không được kiểm tra ở mức độ quần thể
  - Với model vốn đã rất cụ thể và hoạt động, scale up không còn phù hợp vì nó có vẻ không phục vụ cho mục đích gì
- Do đó, scale-down có vẻ hợp lý hơn:
  - Bắt đầu với mô hình thô, tạo ra một mẫu hình đơn giản
  - Mô hình được tinh chỉnh từng bước một, một cách có mô đun
  - Sau khi tinh chỉnh, mô hình được kiểm tra xem có còn tạo ra được mẫu hình cũ hay không
  - Mô hình được sinh theo cách này sẽ đặc trưng bởi danh sách những mô đun với các độ cụ thể khác nhau
- Scale down giúp cho ta tìm được độ cụ thể phù hợp của mô hình



- Khi mô hình một loài với IBM, mô hình full từng cá thể không phải lựa chọn hay

## Tổng kết

- Mục đích của bài nghiên cứu là để đánh giá những mô hình IBM với góc độ lý thuyết, “chúng ta đã học được gì”
- Những bài nghiên cứu trong thập kỷ chỉ mang tính cụ thể, không đưa lại tri thức tổng quát cho lý thuyết sinh thái nói chung
- Tiềm năng “thống nhất lý thuyết sinh thái” là có thật nhưng chưa được khám phá, lý do là:
  - những nhà mô hình hóa có vẻ chưa điều hướng mô hình của họ theo lý thuyết
  - sự phức tạp của IBM khiến những nhà nghiên cứu ngại sự thử nghiệm
- Những luận định của tác giả cũng nên được xem xét vì:
  - 10 năm là quá trình khá ngắn ngủi với một hướng tiếp cận mới
  - Phần mini review bị lệch về hướng các mô hình cho loài cá (mô hình cho loài quá không thể được liên kết tới lý thuyết theo dạng  $\frac{dN}{dt} = F(N)$ ); tuy nhiên tác giả cho rằng mô hình nghiên cứu về những loài khác cũng sẽ dẫn đến kết quả tương tự.
  - Tác giả lo ngại rằng khái niệm “lý thuyết sinh thái” của mình còn hạn hẹp, tác giả cho rằng cũng có thể đưa ra một lý thuyết tổng quát bằng cách trích ra những lý thuyết quan trọng từ nhiều bài nghiên cứu và tổng hợp chúng.
- Một mặt quan trọng trong cách đề thúc đẩy IBM tới gần lý thuyết hơn là khái niệm “lý thuyết”.
- Tác giả chọn lý thuyết sinh thái cổ điển vì nó đã được sử dụng làm lý thuyết trong nhiều thập kỷ
- Tuy nhiên, một phần của lý thuyết hoặc sinh thái sẽ có thể khác với lý thuyết, ví dụ như trong vật lý hoặc gen.
- Rất khó để có một lý thuyết sinh thái toàn cục để hiểu được và dự đoán được hệ động lực trên bất kỳ hệ sinh thái, IBM có thể sẽ phản ánh những loại lý thuyết mà sinh thái cho phép
- Hai mặt của lý thuyết: câu hỏi, câu trả lời
- Lý thuyết sinh thái nên được xem như một khung chung để biết nên đặt câu hỏi nào cho một hệ sinh thái, khác với vật lý, do đó nó nên được so với chẩn đoán thuốc hoặc tội phạm (thay vì vật lý)
  - Trong chẩn đoán thuốc, có hàng trăm, nghìn các câu trả lời, nhưng các câu hỏi thường rất tổng quát và có cấp bậc
  - Trong những hiện trường, có nhiều loại tội phạm, nhưng những câu hỏi để tìm ra tội phạm thường giống nhau
  - Do đó, sự khác nhau giữa mô hình cổ điển và IBM có thể khác nhau giữa khái niệm về lý thuyết và tổng quát
- IBM có vẻ thừa nhận rằng những câu trả lời trong ecology không tổng quát

- Tuy nhiên, thực hành IBM cũng bỏ qua sự tổng quát trong câu hỏi
- Ở giai đoạn của ecology tại thời điểm viết bài báo, kết hợp giữa câu hỏi tổng quát và IBM có vẻ là hướng đi có triển vọng

## Note

- Sử dụng lý thuyết trong mô hình cổ điển để phân tích mô hình
- Mẫu hình:
  - Mô hình con cho lúa: thay đổi của lúa dưới dạng một hàm, để có thể so sánh được, ví dụ  $f_{a,b,c}(t) = a + b \cdot t^c$ .
  - So sánh kết quả giải số của mô hình rầy nâu-lúa với kết quả sinh ra từ mô hình IBM (số rầy nâu, lượng lúa theo thời gian)
- Thử nghiệm để học được nhiều thông tin hơn và hiểu rõ hơn mô hình
- Góc nhìn về lý thuyết: câu trả lời tổng quát hay câu hỏi tổng quát?