

Edge of Chaos

(혼돈의 가장자리)



김은주

10th 2015

Table of Contents

I . Review 1

1. 자기조직화 정의
2. Iliya Prigogine (일리야 프리고진)

II. Synergetics (시너제스틱)

1. Hermann Haken (하켄)
2. 시너제틱스의 Casual loop (인과고리)

III. Edge of Chaos (혼돈의 가장자리)

1. Stephen Wolfram (월프램)
 2. 세포 자동차(Cellular Automata)
 3. Class IV
 4. Christopher Langton(랭턴)
 5. Stuart Kauffman (카우프만)
 6. Stuart Kauffman (카우프만)의 혼돈의 가장자리
-

Table of Contents

I . Review 1

1. 자기조직화 정의
2. Iliya Prigogine (일리야 프리고진)

II. Synergetics (시너지스틱)

1. Hermann Haken (하켄)
2. 시너지스틱스의 Casual loop (인과고리)

III. Edge of Chaos (혼돈의 가장자리)

1. Stephen Wolfram (월프램)
 2. 세포 자동차(Cellular Automata)
 3. Class IV
 4. Christopher Langton(랜턴)
 5. Stuart Kauffman (카우프만)
 6. Stuart Kauffman (카우프만)의 혼돈의 가장자리
-

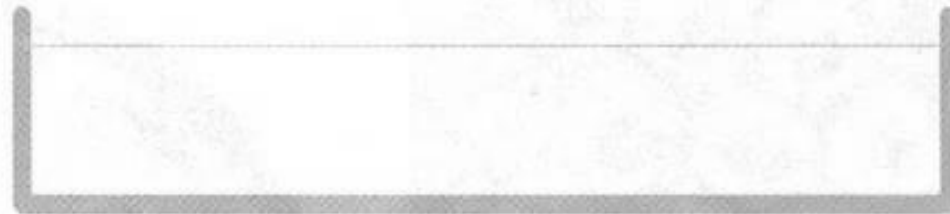
자기조직화란?

: 자기조직화는 불균형상태에 있는 시스템이 구성요소들 사이의
집합적인 상호작용을 통해 조직화 된 질서를 스스로 만들어 낸
현상



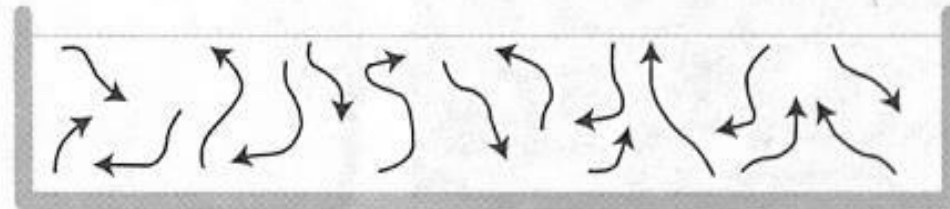
- ▶ 일리야 프리고진 (1917~2003)
- 러시아 출신
- 벨기에, 물리 및 화학자
- 1977년 노벨 화학상 수상

1단계 : 역전층
(안정한 전도)



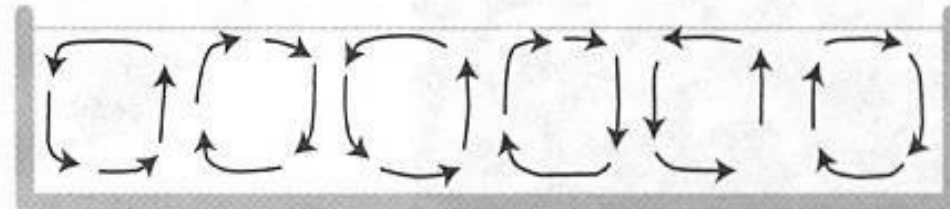
따뜻함

2단계 : 혼돈적 흐름
(불규칙적 대류)



뜨거움

3단계 : 베나르 세포
(규칙적 대류)



매우 뜨거움

에너지의 흐름

- ▶ 시스템이 평형상태에서 아주 멀어지면(far from equilibrium) 분기현상이 일어나면서 **또 다른 형태의 공존하는 질서**, 즉 베나르 세포가 만들어짐
 - 이것은 비 평형상태가 단순히 무질서만을 만들어내는 것이 아니라, 새로운 질서(소산구조)의 근원이 됨을 의미
-



▶ 벨루소프 (1893~1970)

- 러시아 출신
- 화학자 및 생물물리학자



▶ 자보틴스키 (1938~2008)

- 러시아 출신
 - 화학자
-



$t = 0$



$t = 5s$



$t = 10s$



$t = 15s$



$t = 20s$



$t = 25s$



$t = 30s$



$t = 35s$



$t = 40s$



$t = 45s$



▶ Richard M. Noyes

(1919~ 1997)

: 미국의 화학자

오레곤 대학 화학과 교수

Journal of Physical

Chemistry 편집위원장 역임

- ▶ 오레곤 대학의 과학자들은 프리고진의 이론을 따라 오레고네이터라는 화학반응 모델 세움
- ▶ 이 모델 통해 새로운 화학 반응을 성공적으로 해석

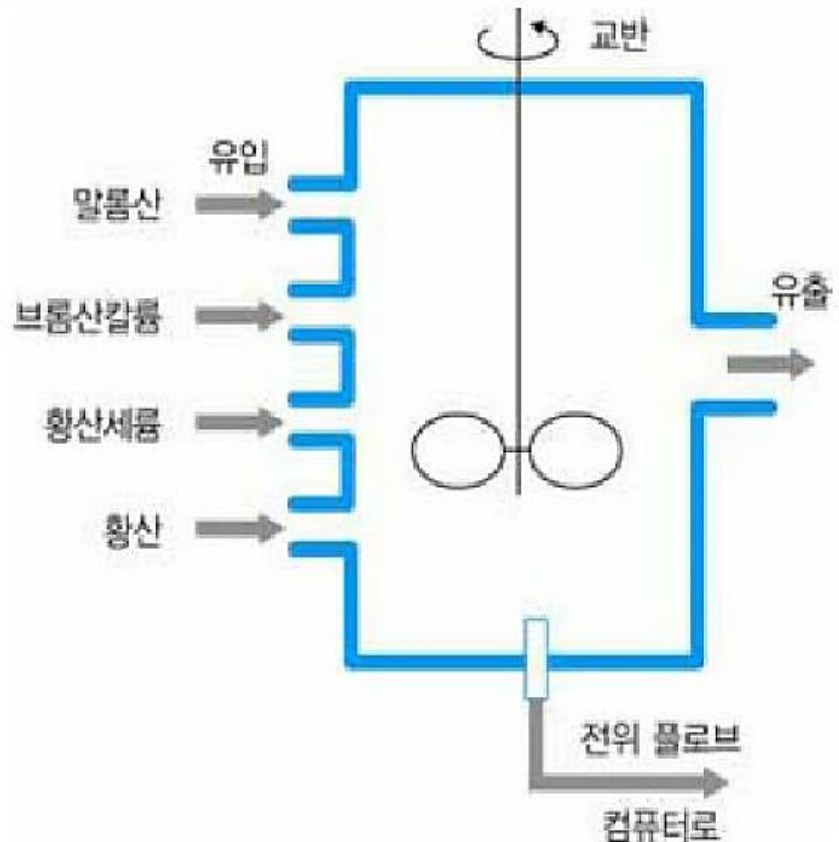


Table of Contents

I . Review 1

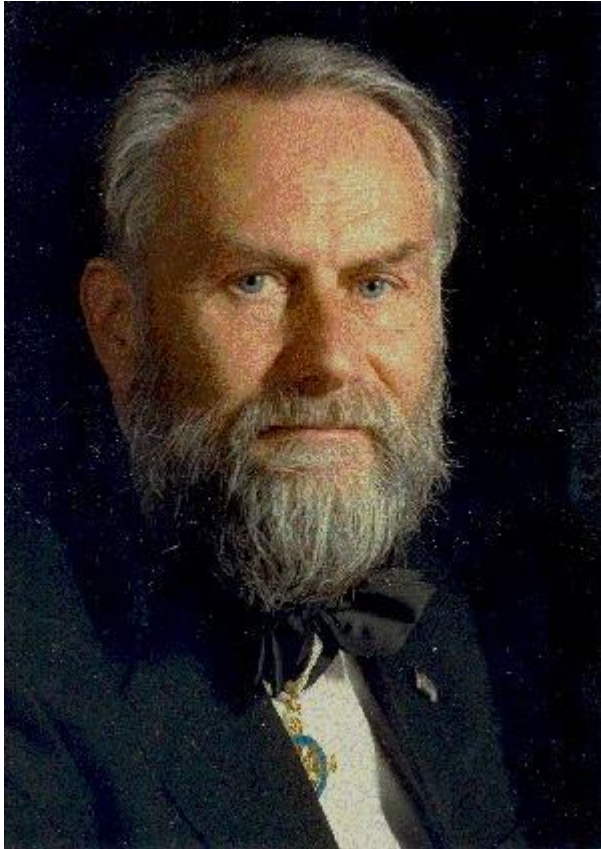
1. 자기조직화 정의
2. Iliya Prigogine (일리야 프리고진)

II. Synergetics (시너제스틱)

1. Hermann Haken (하켄)
2. 시너제틱스의 Casual loop (인과고리)

III. Edge of Chaos (혼돈의 가장자리)

1. Stephen Wolfram (월프램)
 2. 세포 자동차(Cellular Automata)
 3. Class IV
 4. Christopher Langton(랭턴)
 5. Stuart Kauffman (카우프만)
 6. Stuart Kauffman (카우프만)의 혼돈의 가장자리
-



▶ Hermann Haken (하켄)

(1927~)

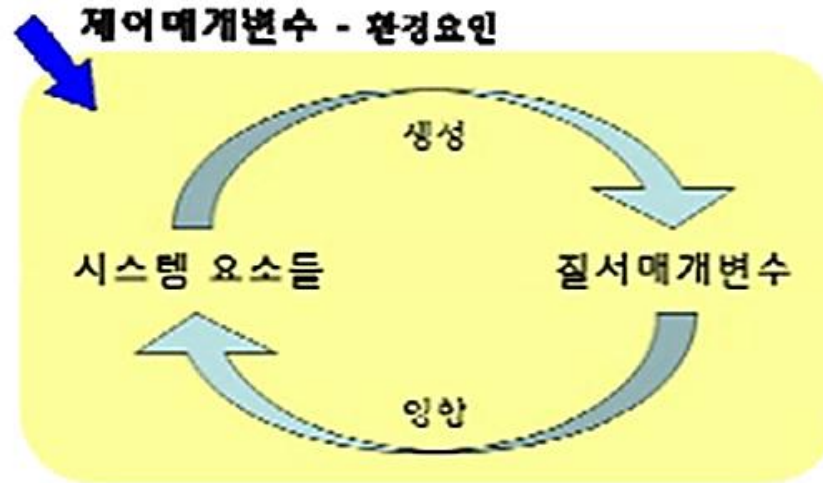
: 독일 출신

물리 및 물리이론학자

시너지틱스 창시자

Max Planck medal in 1990

- ▶ 1970년대 무렵 독일의 하켄은 **창발 현상과 자기조직화를 잘 이해할 수 있는 시너지틱스**라는 독자적인 이론체계를 발전시킴
 - 하켄은 복잡계에서 나타나는 거시적인 **창발적 질서란 열린 시스템을 구성하는 하부 구성요소들이 특정한 조건에서 긴밀한 상호작용을 통해 만들어내는 시너지 효과**라고 인식
 - 창발적 질서는 질서매개변수(order parameter)라고 불리는 소수의 거시변수를 기술 가능하며, 더 나아가 이 창발적 질서가 다시 하부 구성요소들에게 영향을 끼쳐 질서로 수렴시키는 메커니즘
-



▶ 이런 인과고리가 작동하기 위해서는, 우선 시스템에 출입하는 에너지, 정보, 재화 등 여러 환경요인이 맞아야 하며, 이들 조건은 제어매개변수(control parameter)로 나타내어짐

▶ 적절한 제어매개변수 상태에서 시스템 요소들의 다양한 비선형 상호작용을 통해 질서매개변수가 생성되고, 이들 질서매개변수는 다시 시스템 요소들에게 영향을 미치며 개개 요소들의 다이내믹스를 지배



II . Synergetics

Ex. Classic music concert



II . Synergetics

Ex. 한국시리즈 응원



Table of Contents

I . Review 1

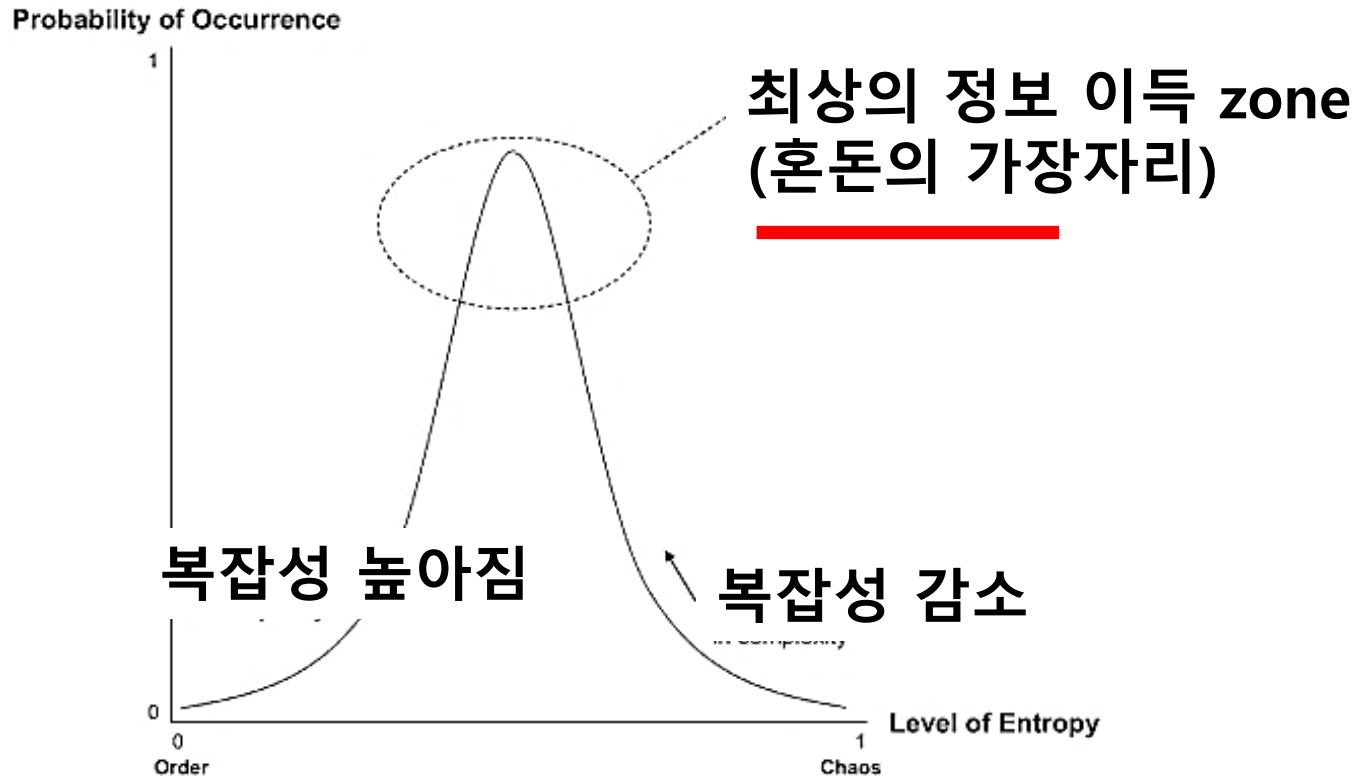
1. 자기조직화 정의
2. Iliya Prigogine (일리야 프리고진)

II. Synergetics (시너지스틱)

1. Hermann Haken (하켄)
2. 시너지틱스의 Casual loop (인과고리)

III. Edge of Chaos (혼돈의 가장자리)

1. Stephen Wolfram (월프램)
 2. 세포 자동차(Cellular Automata)
 3. Class IV
 4. Christopher Langton(랭턴)
 5. Stuart Kauffman (카우프만)
 6. Stuart Kauffman (카우프만)의 혼돈의 가장자리
-



- ▶ Stephen Wolfram(월프램)과 Stuart Kauffman(카푸만)은 **질서 체제와 무질서체제 사이의 중간 영역**에서 질서 현상의 가장 중요한 특징인 자기조직화 현상이 가장 활발하게 일어난다는 사실을 발견



▶ 월프램 (1959~)

영국 출신

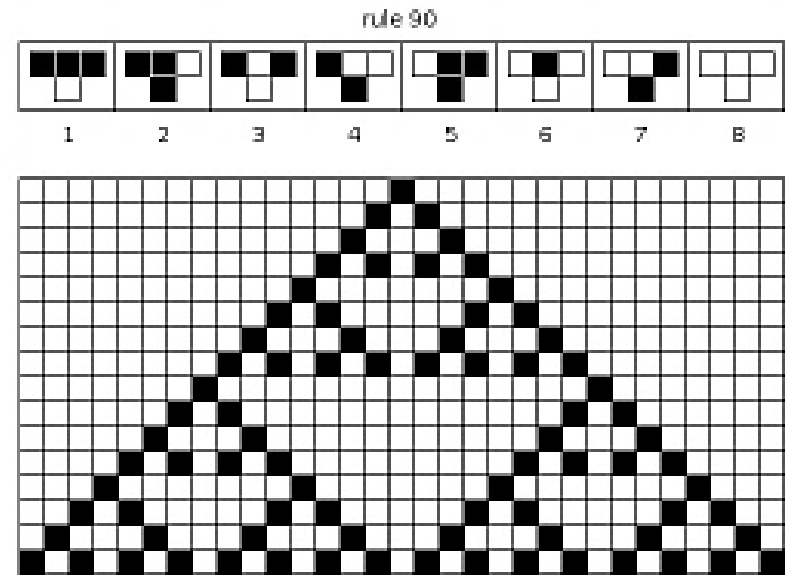
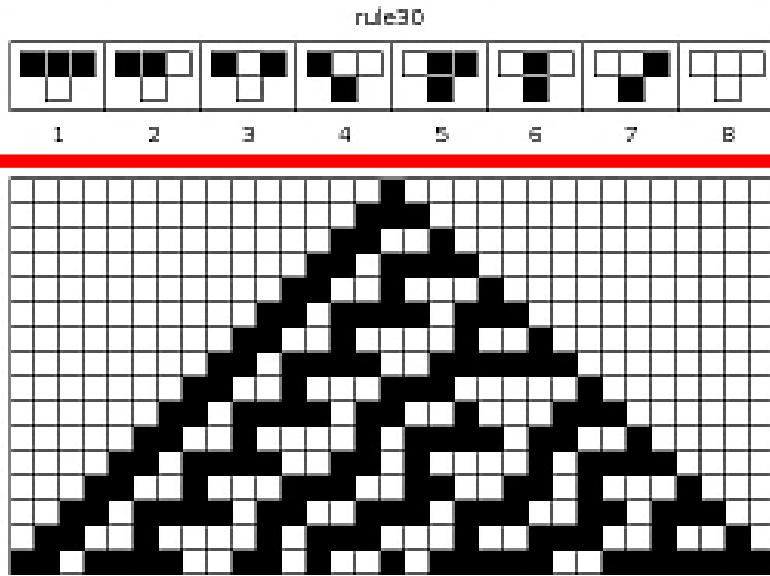
과학자, 이론 물리학자,

최신 과학 기술 분야 전문가

MacArthur Fellowships in 1981

III. Edge of Chaos

2. Wolfram(월프램)의 세포 자동자(Cellular Automata)

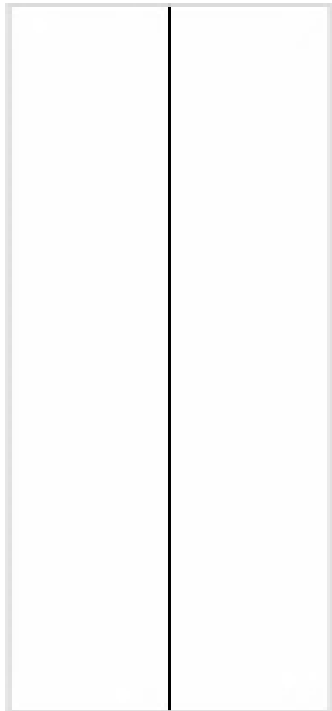


- ▶ 월프램은 Cellular automata(세포자동자)라는 분석틀을 이용해 생명체의 작동원리를 밝히고 자기조직화 원리에 접근
- 1차원 세포자동자를 가정하고, 3개의 이웃한 세포자동자에 대한 규칙은 $8(2^3)$ 가지로 정의하고, 8가지의 조합($2^8=256$)에 대해 수학적으로 정의

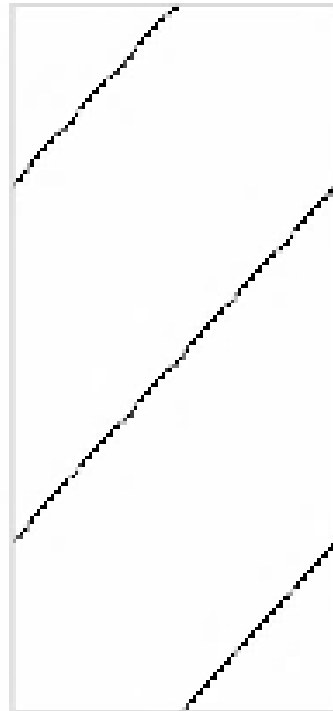
- ▶ 256가지 조합의 특징을 분석해보면 동질적 상태, 단순 또는 주기적 구조, 혼돈상태, 복잡구조 등 4가지를 가짐
 - 1. Class I: 고정적 결과를 낳는 점 끌개
 - 2. Class II: 진동하는 패턴을 넣는 주기 끌개
 - 3. Class III: 예측 불가능하고 무질서한 패턴을 가지는 기이한 끌개
 - 4. Class IV: 이름 붙이지 않은 그룹으로서 증식하고, 성장하고, 나누어지고, 매우 복잡한 방식으로 재결합하는 일관된 구조를 생산하는 그룹
-

III. Edge of Chaos

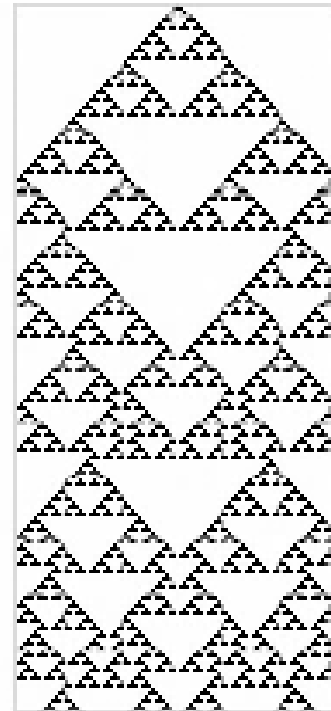
4. Wolfram(월프램)의 Class 시뮬레이션 결과



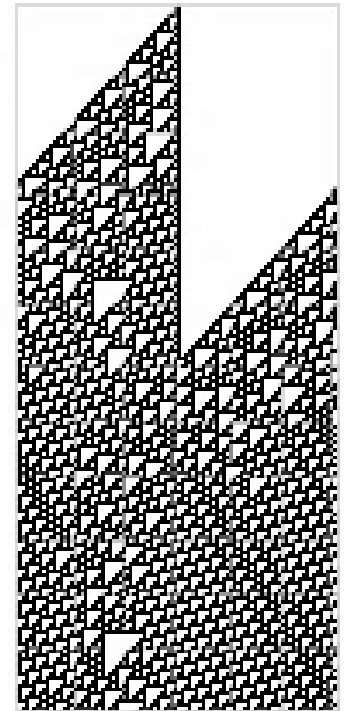
Class I



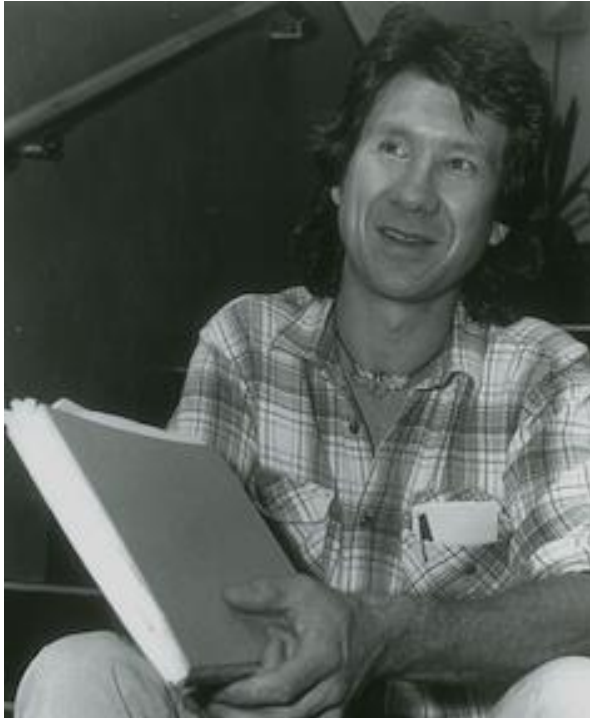
Class II



Class III



Class IV



- ▶ 랜턴 (1948~)
- 미국 출신
- 컴퓨터 과학자
- Artificial Life(인공생명) 창시자

- ▶ 모형 피라미터 값을 변경 시켜가며 세포자동차의 프로그램 시작
- ▶ 파라미터가 증가: Class I \rightarrow Class II \rightarrow Class III
하지만, Class II 와 Class III 구간에서 피라미터가 0.273의 값을 가질 때, Class IV 나타남.
- ▶ 단순한 파라미터가 원했던 순서대로 월그램의 Class group을 만듦.
정확한 전이점에서 Class IV 찾아냄.

Class I & II \rightarrow Class IV \rightarrow Class III

결과) Order(질서) \rightarrow Complexity(복잡성) \rightarrow Chaos(카오스)

76

Christopher G. Langton

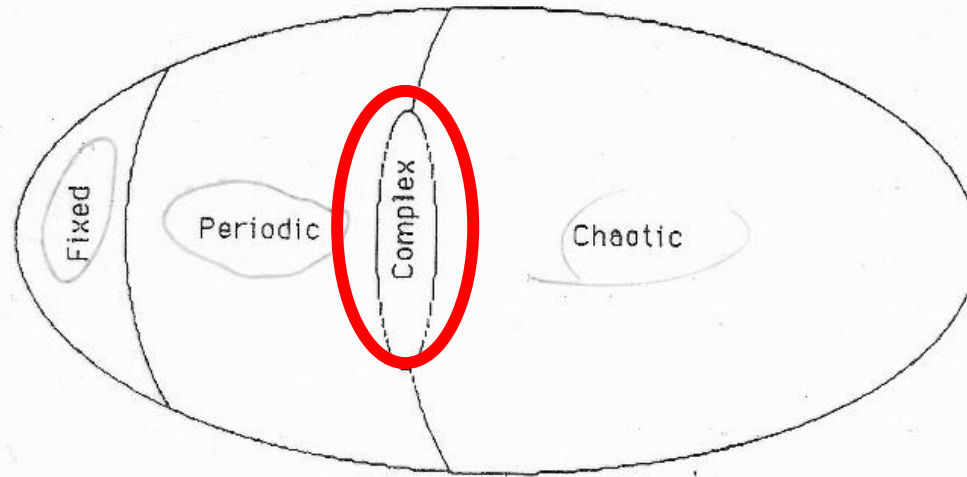


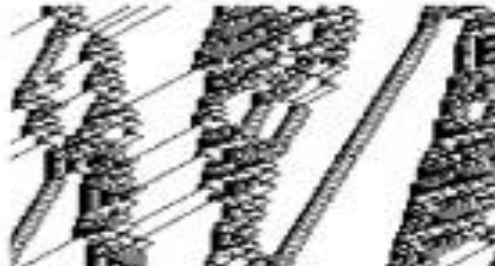
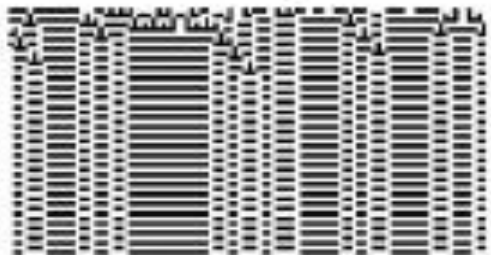
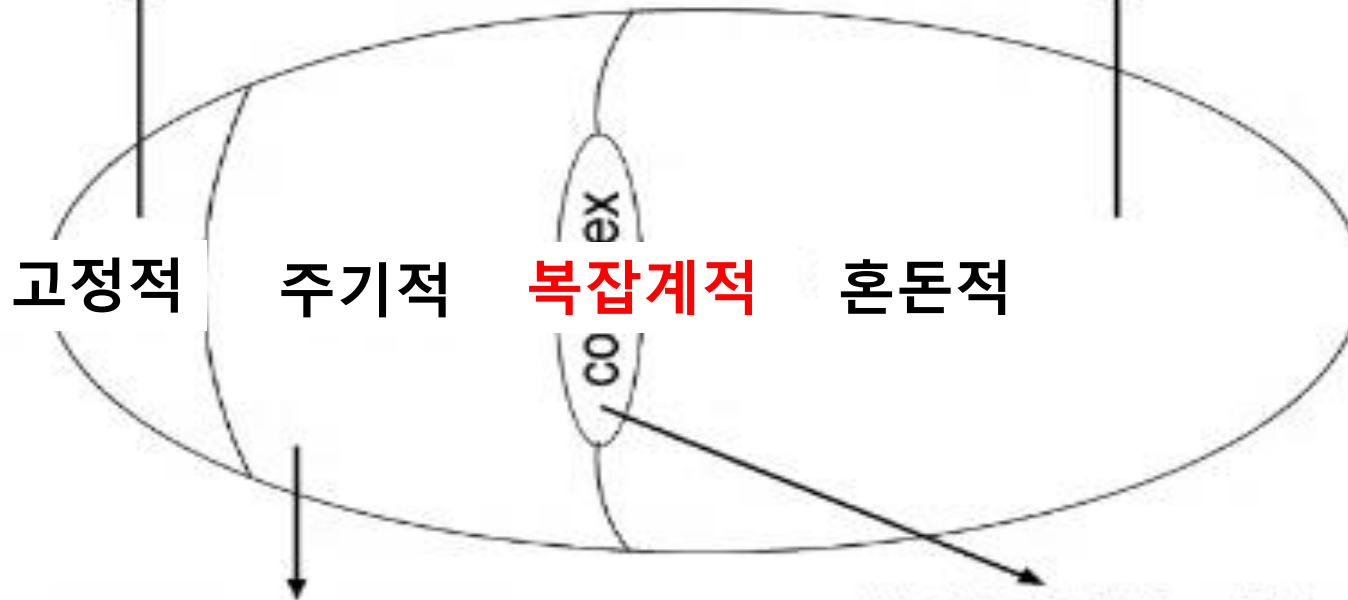
FIGURE 21 Schematic drawing of CA rule space indicating relative location of periodic, chaotic, and complex regimes.

- ▶ **복잡성:** 질서와 혼돈 사이의 가장자리에 위치한 균형선 또는 변이점
다시 말해, 질서와 혼돈 사이의 가장자리, 즉 질서와 카오스의
미묘한 경계선 안에 놓인다.

Class I



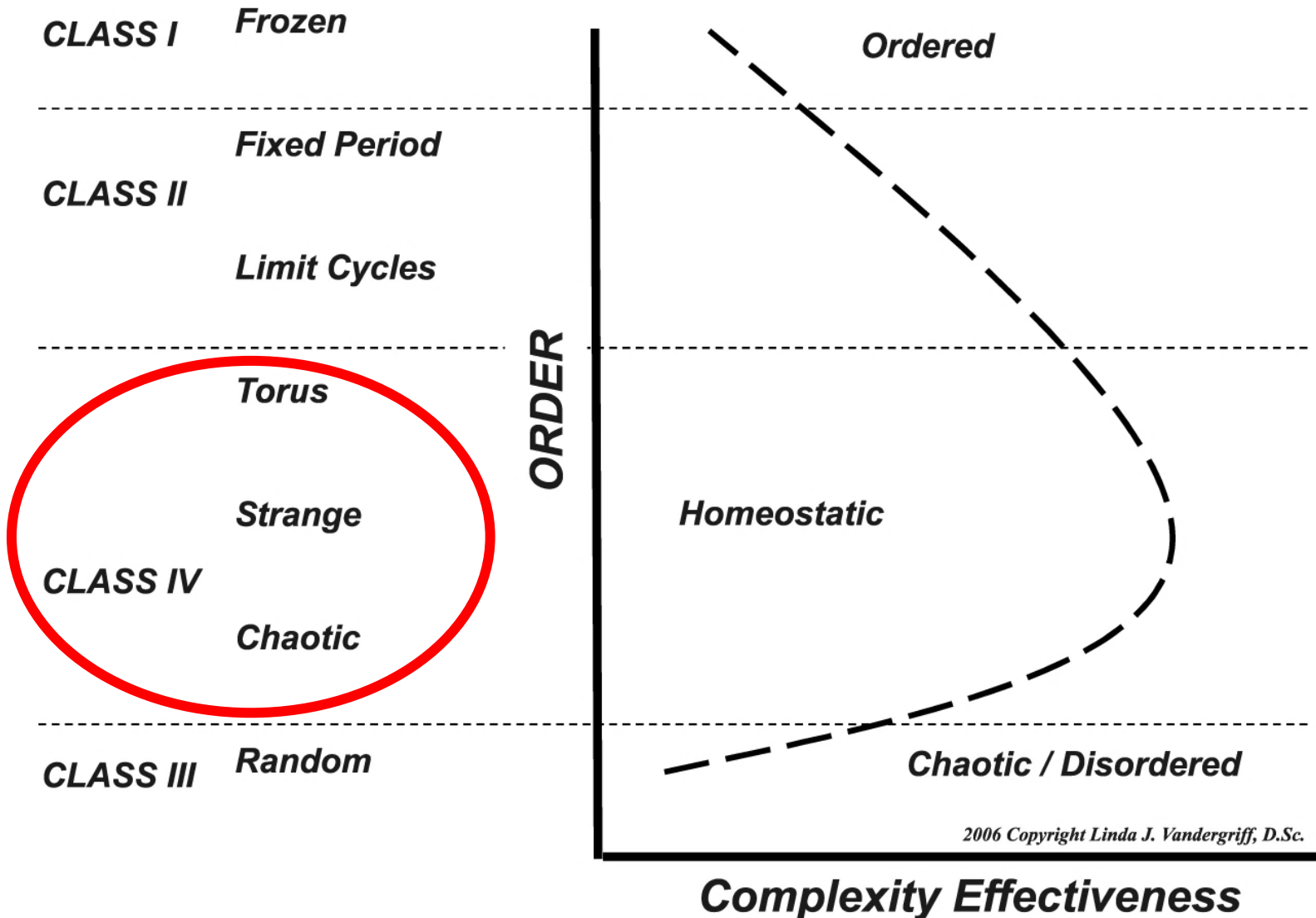
Class III

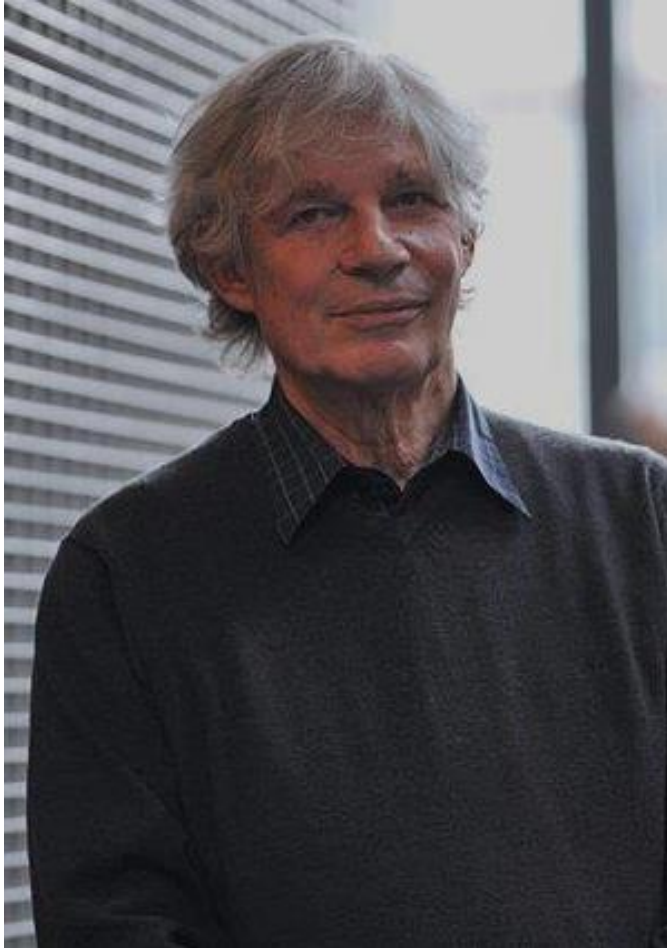


Class IV

Class II

Chaos Attractors

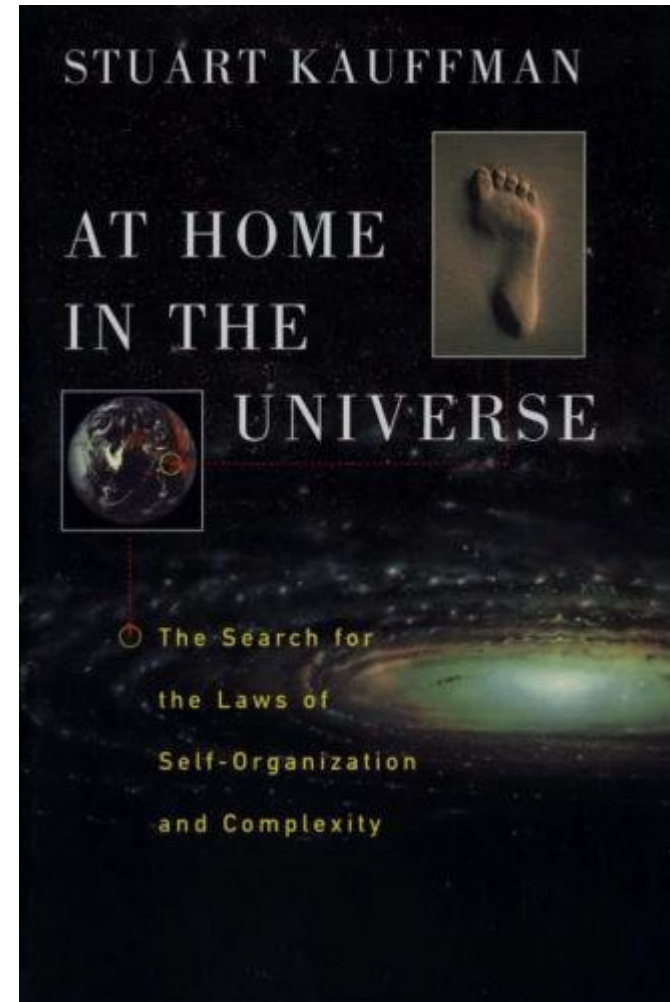




▶ 카우프만 (1939~)

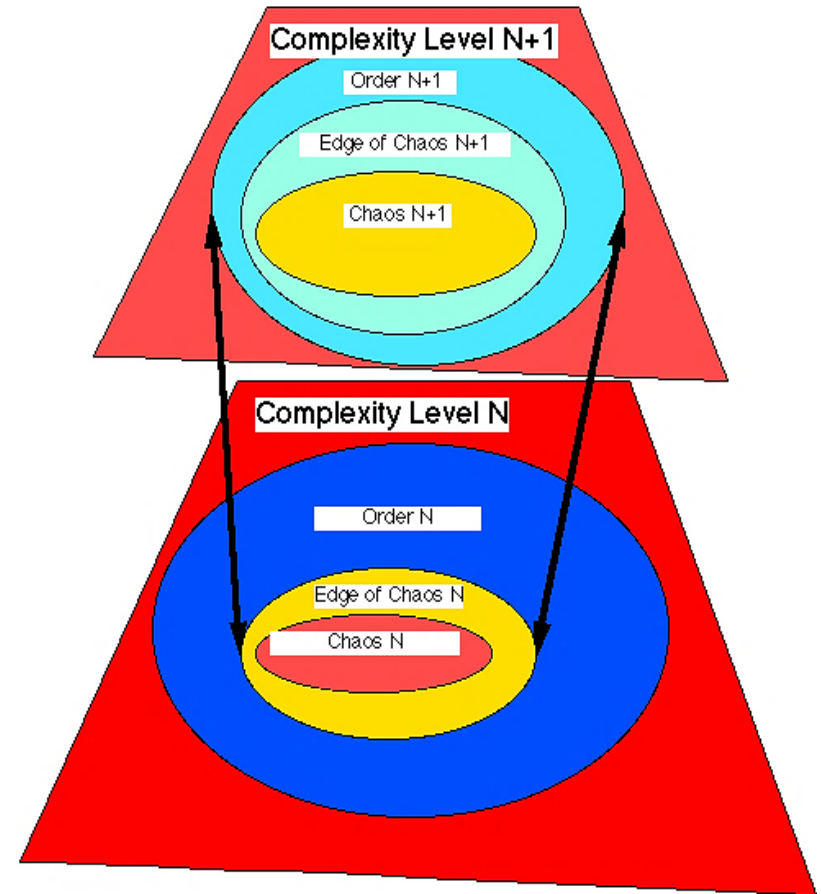
- 미국 출신
- 이론 생물학자, 복잡계 연구자
- MacArthur Fellowship, 1987~1992

▶ 프리고진과 월프램에 의해서 발전해오던 자기조직화에 대한 개념이 카우프만에 의해 집대성



1. 구성요소들이 **혼돈과 질서를 이루는 경계면 혼돈의 가장 자리에서** 창발적으로 형성
 2. 안정된 균형의 상태도 아니고 무질서한 혼돈의 상태도 아닌 **중간 상태**
 3. 혼돈과 안정 사이에 **균형을 맞춰가며** 살아가는 생명의 영역
-

- 카우프만은 4만개 이상의 유전자로 구성된 사람의 게놈체계를 복잡적응계로 보고 개체발생에 대한 설명을 제공
- **개체발생**은 혼돈과 질서가 균형을 이루는 경계면, 즉 혼돈의 가장자리에서 구성요소들이 새로운 질서를 자발적으로 형성해 내는 **자기조직화** 능력을 가지고 환경에 적응하는 **현상이라고** 설명



III. Edge of Chaos

Ex. 다윈의 진화론과 카우프만의 진화

