복잡계물리와 인공지능

최무영

서울대학교 물리천문학부

뇌과학 협동과정

계산과학 협동과정

과학사 및 과학철학 협동과정

2018. 4. 계원물리학강의

- 과학이란 무엇인가
- 복잡성과 복잡계
- 지능: 두뇌와 학습
- 창의성: 과학과 예술
- 통합적 사고

과학이란 무엇인가

자연과학: 자연을 이루는 모든 것의 근본 이치를 과학적 방법으로 추구하며, 이를 통해서 다양한 자연현상에 대한 합리적 설명 및 예측을 가능하게 하는 학문 (자연 → 사회 ➡ 사회과학)

자연과학 → 현대 과학 문명

신비로운 자연현상(인간 자신 포함, 전체 우주)의 이해 → 정신문화

과학기술의 바탕 → 물질문명 (IT, NT, BT, ST, ET, GNR…)

부정적 측면: (핵)무기, 환경오염과 파괴, 가치의식 붕괴

현대사회: 과학과 기술에 크게 의존, 민주주의에도 영향

cf. 줄기세포, 광우병, 천안함, 4대강, 조류독감, 메르스, 핵발전과 방사능, 가습기살균제, 정보유출, 암호화폐

⟹ 현대인에게 과학의 이해 필수적! ('4차 산업혁명')

학문의 심화 → 전문가(재능+수련)에게만 이해 가능? 비법?

과학: 공개된 학문 (객관성, 합리성)

인간 지성이 만들어내고 있는 정신적 구조물 (형태+기능)

합리적 사고의 틀(이성)을 가진 사람이면 누구나 검토, 인정 가능

문과 vs 이과 cf. 두 문화 C.P. Snow

인간 대 기계?

바둑: 이세돌 (인간) vs 알파고 (기계)

알파고의 승리 (세계 바둑 1위): 기계의 승리? 서양의 승리?

기계: 인간보다 월등한 성능 공작기계, 자동차, 계산기, … 서양적?

바둑: 신비로운 인간만의 영역? 기운, 기풍, 입신, … 동양적?

베터리지 법칙Betteridge's law 또는 힌클리프 규칙Hinchliffe's rule

(1) 신비주의 약화 알파고: 9단, 입신

"힌클리프 규칙은 참인가?"

(2) 프로기사/프로운동선수 (시옷물결): 적어도 liar paradox

(3) 사람 vs 기계가 아니라 사람 vs 사람 (바둑기술자 vs 전산기술자)

바둑: 기본적으로 연산

"원리적"으로는 영상인식보다 쉬운 문제 cf. 체스

"현실적"으로는 어려운 문제 ← 복잡성 cf. 지능

복잡성과 복잡계

물질 (구성원과 그들 사이 상호작용) → 자연현상

질서: 천체의 운동, 고체(결정)

무질서(마구잡이random, 혼돈chaos): 주사위, 빵 반죽, 날씨, 기체

완전한 질서
완전한 무질서 } ⟹ 간단한 거동

자연: 질서와 무질서의 경계

변이성이 매우 큼 (e.g. 풍경) → 복잡성complexity "변화무쌍"

각 단계마다 새로운 상세함과 다양성

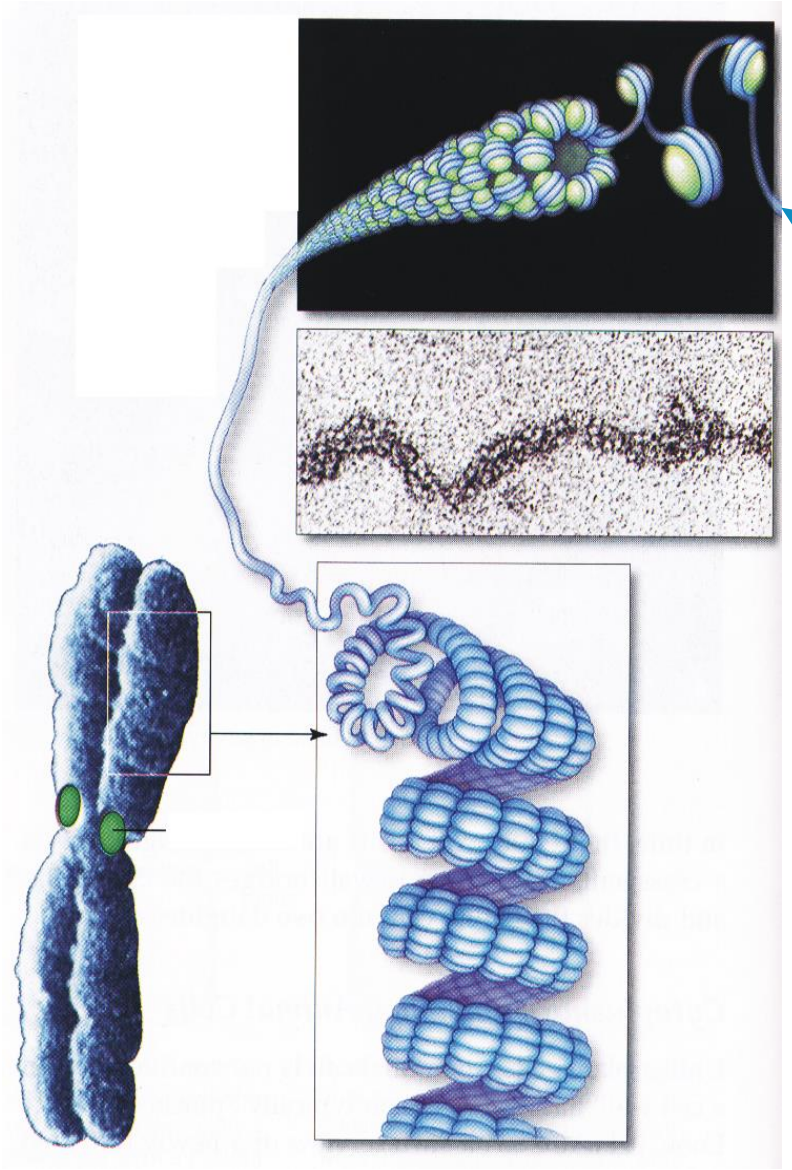
전체가 각 부분에 있고 각 부분이 전체에 있음

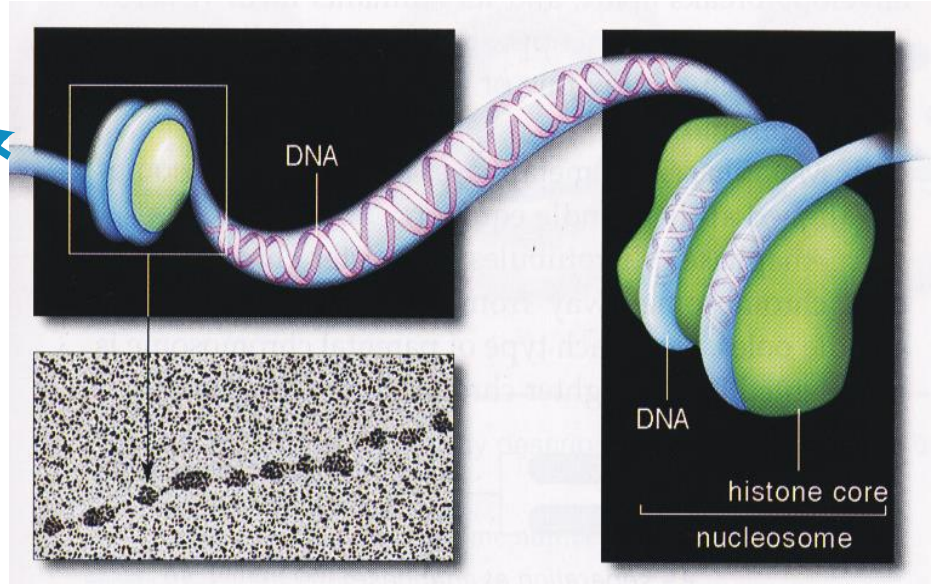
각 요소는 적절한 자율성, 상호참여를 통해 전체의 결맞음 이룸

Broccoli Romanesco

Broccoli Romanesco

DNA 구조 (염색체에서의 꾸리기)





쪽거리 구조 Fractal structure

total length: 1.8m per cell (human)

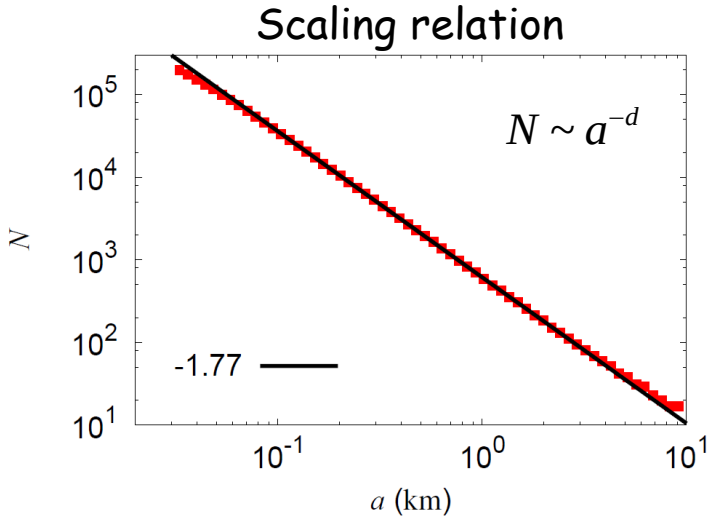
DNA: - charged (-e/nucleotide)

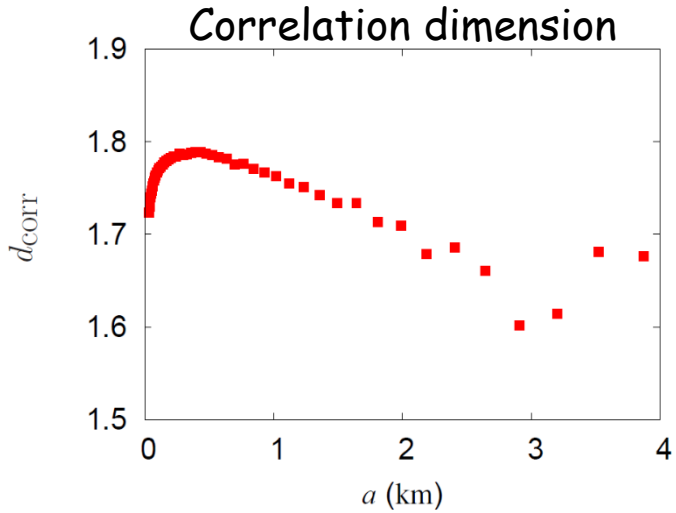
histone (protein): +charged epigenetics

strong Coulomb attraction!

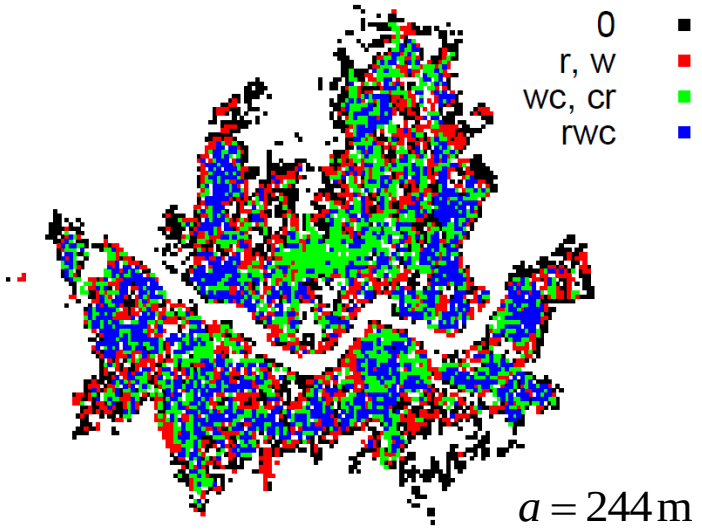
건축물 분포 (서울)

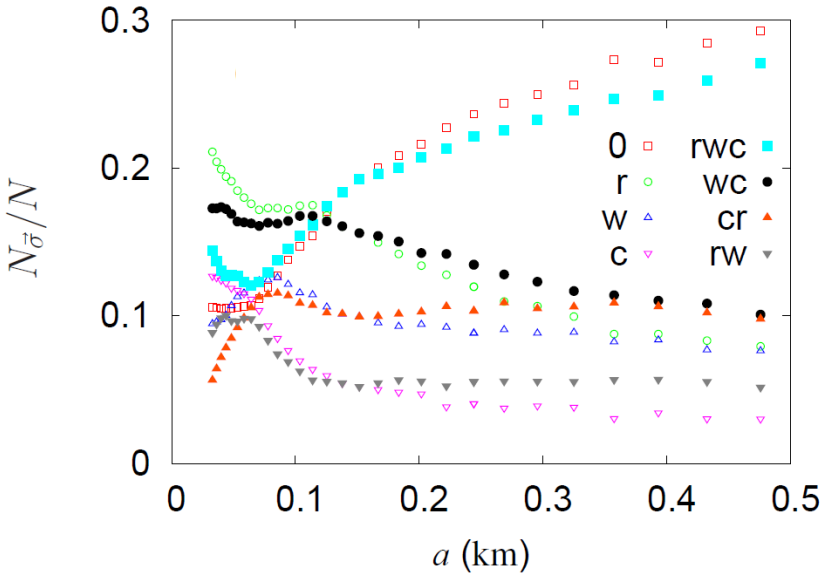
- Fractal dimension





- Urban morphology and state distribution (median as a threshold)





복잡성 (커다란 변이성) ← 떠오름emergence

여러 기능성, 모호함, 비효율, 중복, 불완전성 ↔ 질서정연

환경과 교류, 변화에 유연한 응답

개개 요소에 있는 것이 아니고 그들의 특별한 짜임(체계)에 있음 (정보)

구성요소: 자유로우나 상호작용(참여)을 통해 결맞는 전체 (협동 vs 협력)

복잡계complex system 상호작용하는 많은 구성원들, 복잡성의 떠오름

물질, 생명, 사회 현상 이해의 새로운 규범paradigm

잘 짜임highly organized

커다란 변이성large variability

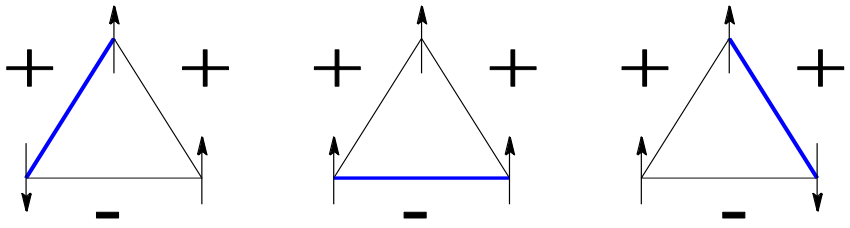
← 정보info

많은 정보량 ← "거대자료 big data"

핵심 재료: 쩔쩔맴frustration, 마구잡이randomness

쩔쩔맴frustration: 이해의 상충

삼각 관계



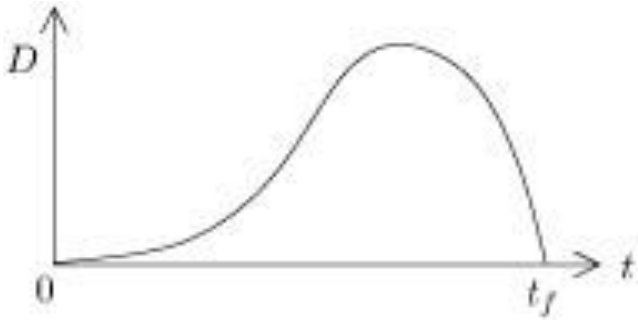
→ 많은 (준)안정 상태metastable states

→ 높은 변이성

연극: 전체 세 사람의 짝 N_t 중에서 삼각관계 짝 N_f

연극 긴장도

$$D \equiv \frac{N_f}{N_t}$$



cf. Shakespeare

복잡계: 물질, 생명, 사회 현상 이해의 새로운 규범 (보편지식 관점)

뭇알갱이계many-particle system: 상호작용하는 많은 구성원

$\xrightarrow[\text{떠오름}]{}$ 복잡성

- 비선형 nonlinearity → 복잡한 거동 → 예측불가능성
- 열린 흩어지기 구조 open and dissipative structure → 환경
- 질서와 무질서 사이 between order and disorder → 고비성질 (임계성)
- 기억 memory → 적응
- 나이 먹기 aging properties
- 동역학 dynamics 중요 → 비평형 성질

준안정: 유지 위해 협력(상호작용) 중요

짜임organization ← 정보 교류information exchange

커다란 변이성large variability ← 많은 정보량, "큰자료 big data" (사회현상)

핵심 재료: 쩔쩔맴frustration, 마구잡이randomness

복잡계 모음

- 물질

  초전도체, 유전체, 자성체, 전하밀도파동, 유리(창, 스핀, 전하, 게이지), 이온성액체, 가루, 액정, 자라남, 결합떨개, 섬유다발, 물, …

- 생명

  단백질, DNA, 세포막, 물질대사, 기공, 내분비와 조절계, 자가포식, 두뇌, 때맞음 (염통 박동, 뇌전자도, 생체주기, 반딧불이, 귀뚜라미, 새 떼, 달거리 주기, 손뼉치기), 잠, 인간의 동작, 생태계와 진화, …

- 사회

  교통흐름, 교통그물얼개, 여론 형성, 도시 지형, 주거지, 죄수의 난제, 다단계 판매, 주식시장, 금융, 사회의 자라남, 최적화 문제, …

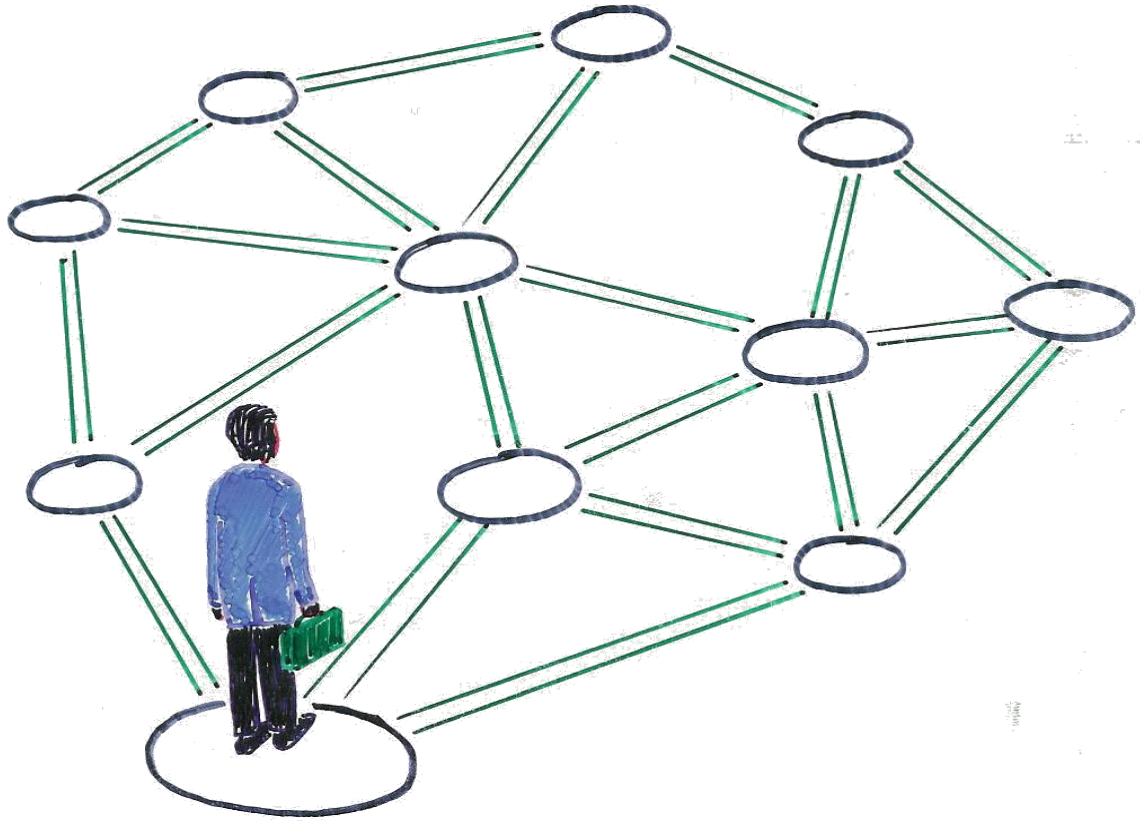
다양성 가운데에 보편성

최적화 문제

외판원 문제 Traveling salesperson problem (TSP)

외판원이 모든 도시를 한번씩 방문하고 돌아오려 할 때 가장 짧은 경로?

경로의 길이 = 비용



관련 문제: 비용 최소화

회로판 구멍 뚫기, 결정구조 분석, 차량 경로 결정, 작업 순서 배열,
VLSI 설계, 도선 잇기, 벽지 자르기, 단백질 접기

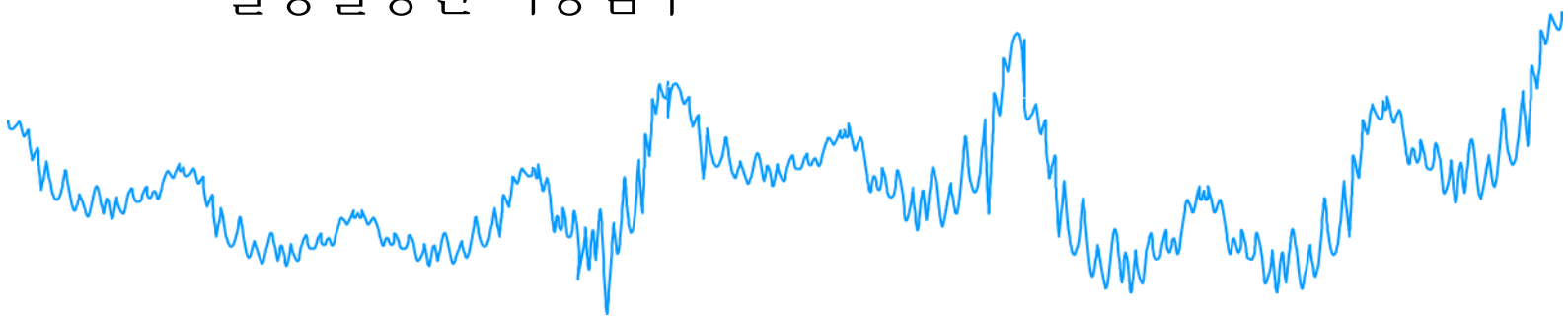
어려운 문제 NP problem

왜 그리 어려운가?

모순된 목표: 가장 가까운 도시로, 그러나 모든 도시 방문해야

→ 쩔쩔맴 (그리고 마구잡이)

→ 울퉁불퉁한 비용함수



변화무쌍

복잡성

최적화 방법 Optimization methods

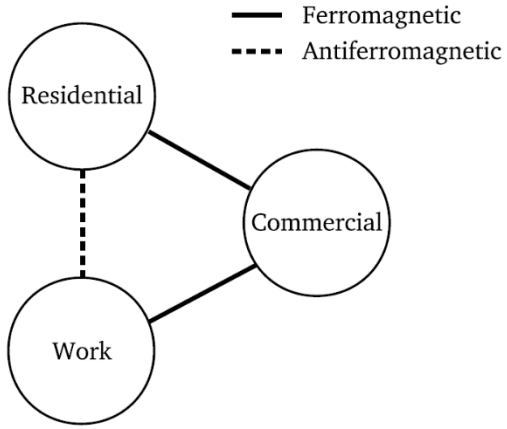
1. 남김없이 찾기 Exhaustive search
   - ⇨ 폭력적 방법 Brute-force method: 가짓수 $N!$
   - ⇨ 평면자르기 방법 Plane-cutting method: solve relaxed one and check
     branch-and-cut algorithm ($N \leq 10^4$)
2. 돌아다니기 구성 방법 Tour construction methods
   - ⇨ 탐욕적 풀이 Greedy algorithm
   - ⇨ 끼워넣기 풀이 Insertion algorithms
3. 돌아다니기 개량 방법 Tour improvement methods: gradient descent
   - ⇨ 한곳 최적화 Local optimization
   - ⇨ 린-커니간 풀이 Lin-Kernighan algorithm: best heuristics (complicated)
4. 불림 시늉내기 Simulated annealing
   - ⇨ 중요성 추출 Importance sampling (몬테칼로 Monte Carlo)
   - ⇨ 엔트로피 추출 Entropic annealing
   - ⇨ MC with minimization, conformation space annealing
5. 생물 유래 방법 Biologically motivated methods 인간은 최적화 꽤 잘함
   - ⇨ 신경그물얼개 Neural network 인공지능
   - ⇨ 유전적 풀이 Genetic algorithm: mutation and mating
6. 해석적 방법 Analytical methods
   - ⇨ 스핀유리 이론 Spin-glass theory: replica, cavity

도시 지형: 건축물 분포

- Model Hamiltonian: Frustrated inter-layer couplings

$$\mathcal{H} = -\sum_i h_i(\sigma_{i,r} + \sigma_{i,w} + \sigma_{i,c}) - J\left(\sum_{\langle i,j\rangle}\sigma_{i,r}\sigma_{j,r} + \sum_{\langle i,j\rangle}\sigma_{i,w}\sigma_{j,w} + \sum_{\langle i,j\rangle}\sigma_{i,c}\sigma_{j,c}\right)$$

$$-K\left(-\sum_i \sigma_{i,r}\sigma_{i,w} + \sum_i \sigma_{i,w}\sigma_{i,c} + \sum_i \sigma_{i,c}\sigma_{i,r}\right) \longrightarrow N - 4N_{rw} - 4N_c$$



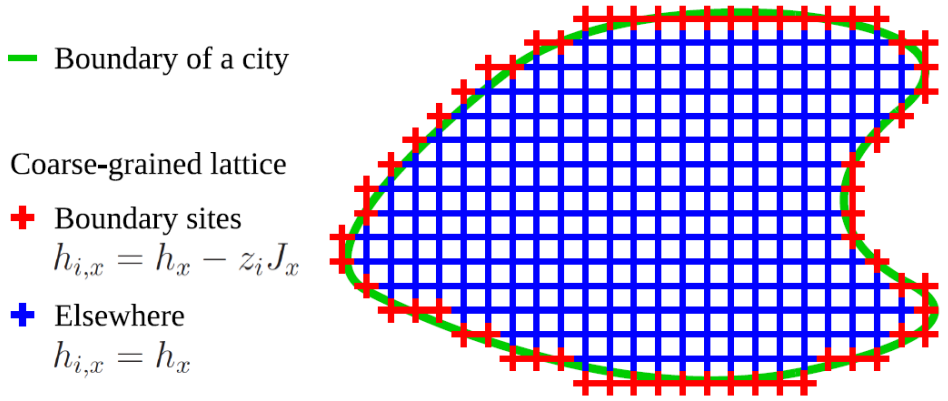
→ Rarity of *rw*- and *c*-states observed in the data

- External Field

$$h_{i,x} = \begin{cases} h_x - z_i J_x & \text{at the boundary } \Omega \\ h_x & \text{elsewhere} \end{cases}$$

- $-z_i J_x$ mimics the difficulty to construct buildings at the boundary

- h_x controls the activity of the city



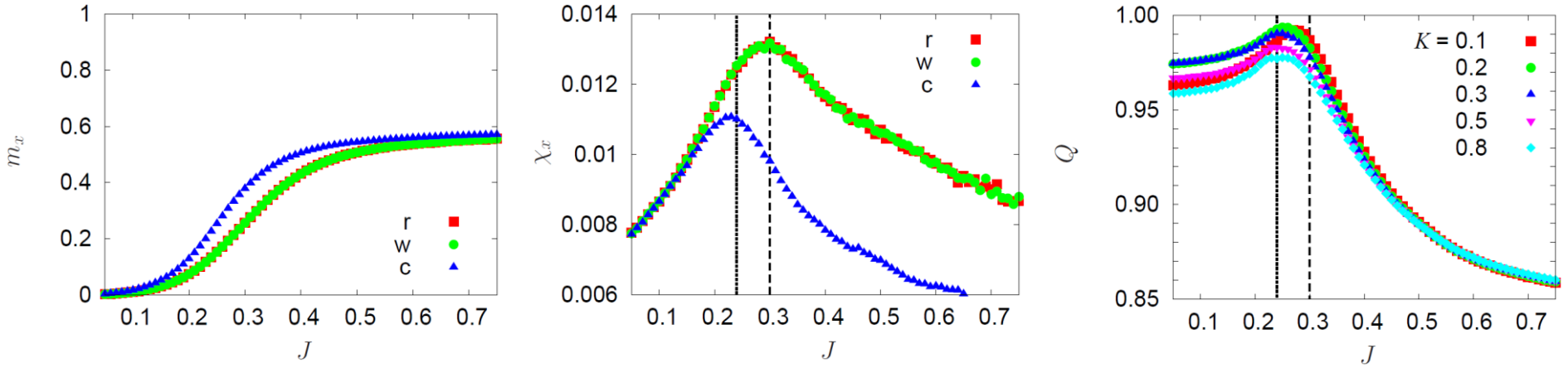
- Macroscopic state vector

$$\mathbf{S} \equiv \frac{1}{\sqrt{N_0^2 + \cdots + N_{rwc}^2}}(N_0, N_r, \cdots, N_{rwc})$$

Urban Morphology Results

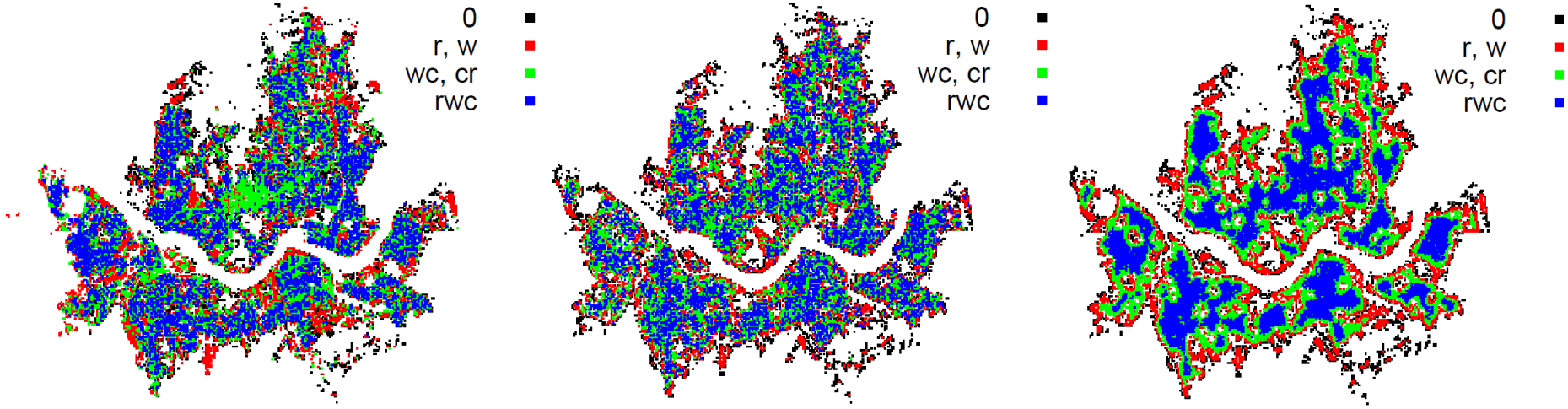
- Monte-Carlo Simulation: Criticality

$Q = \mathbf{S_M} \cdot \mathbf{S_D}$



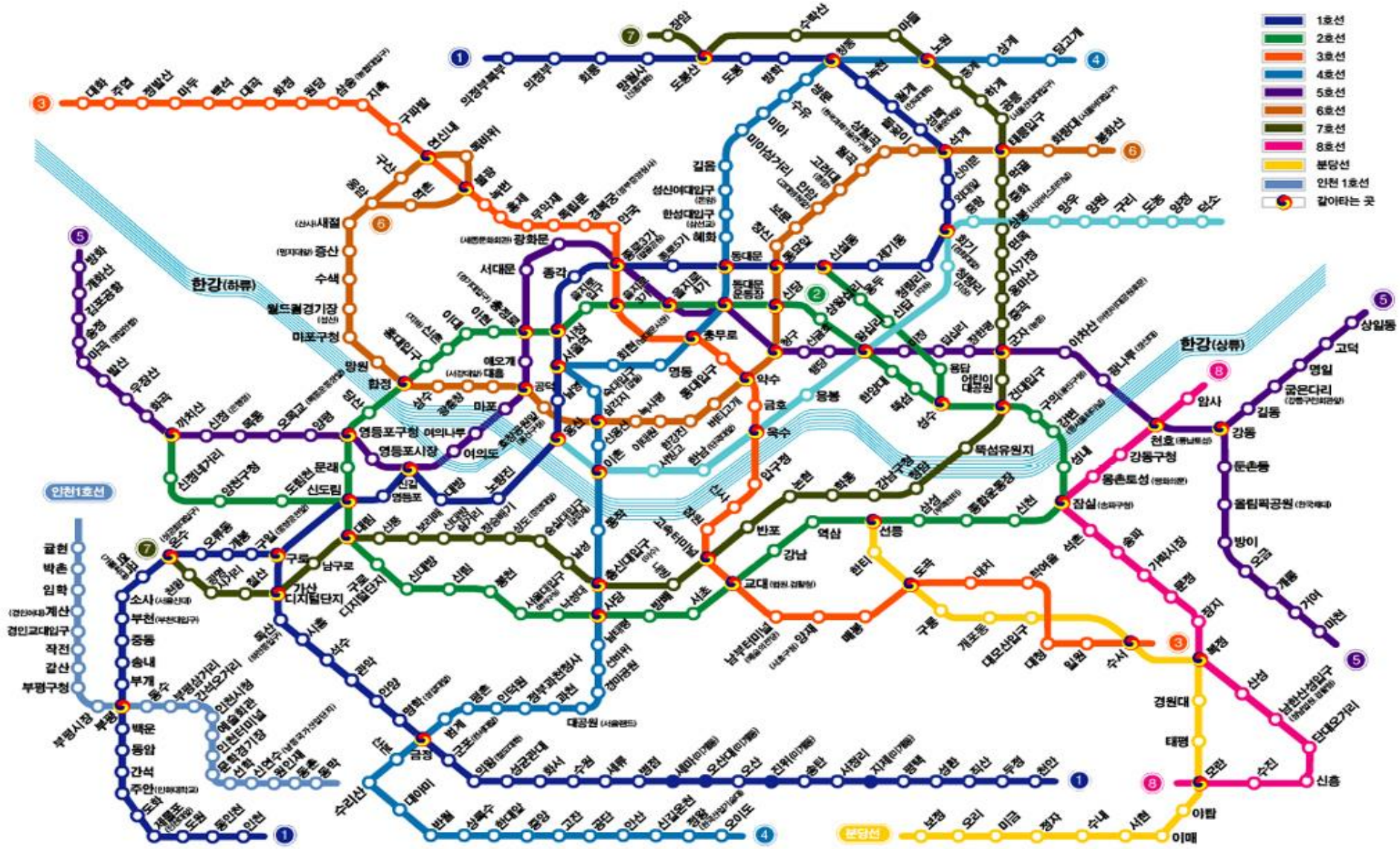
→ Commercial category displays distinctive behavior

- Urban morphology

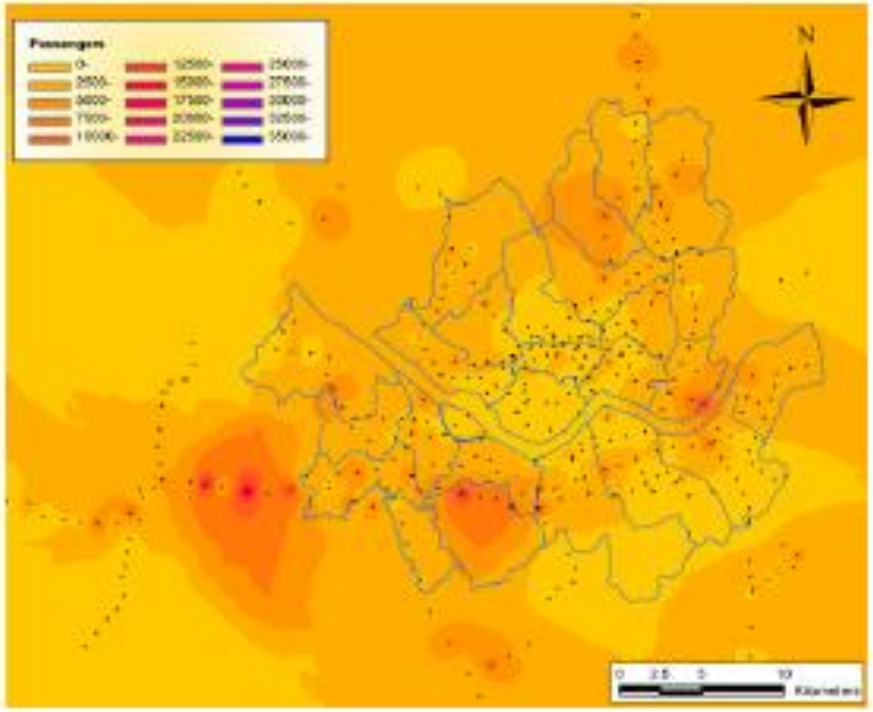


Data $a = 138\text{m}$ Simulation 20 ensembles Simulation 1000 ensembles

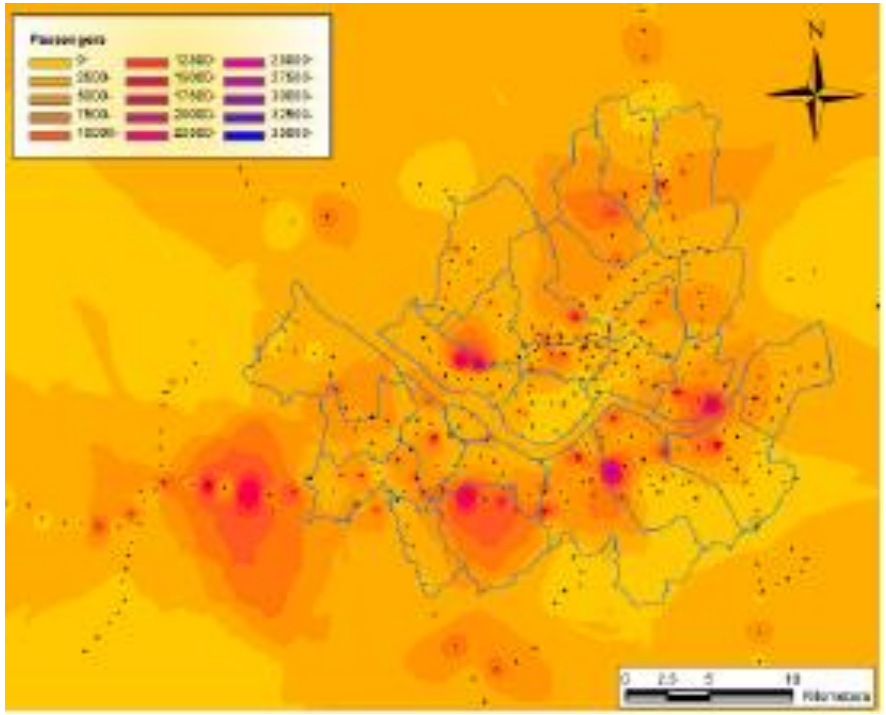
교통흐름: 수도권 전철 그물얼개



Spatial distribution of passenger departures and arrivals



Departures in the morning
main residential areas



Arrivals in the evening
popular entertainment areas

black dots: subway stations
blue lines: ward boundaries in Seoul

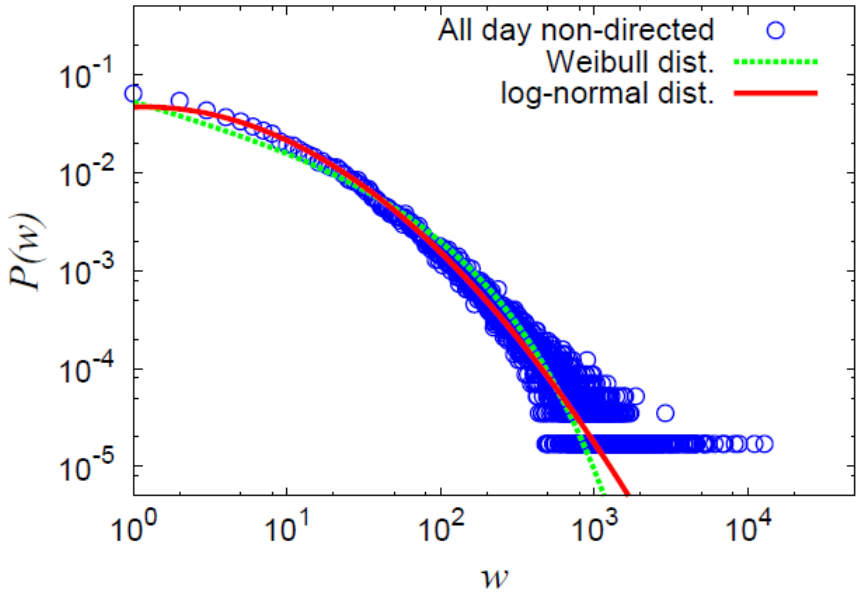
Ants and Metrohoppers

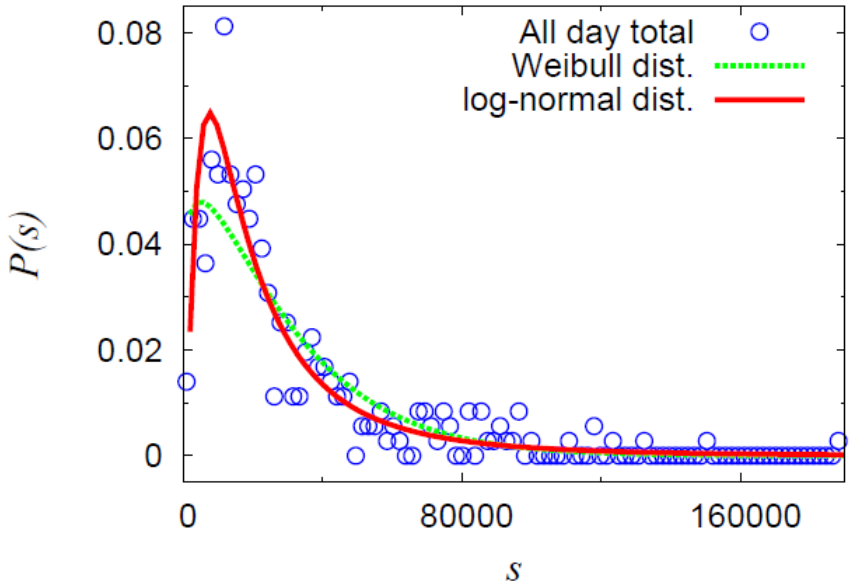
승객 흐름 분포 Passenger flow distribution

Weight *w* of a link bet two stations:
total number of passengers bet the two

Strength *s* of a station:
total number of passengers using it

Metropolitan Seoul Subway System:
357 stations, 127092 links (2005)
≈ 5×10^6 transactions per day





log-normal vs Weibull distributions

χ^2 and likelihood function

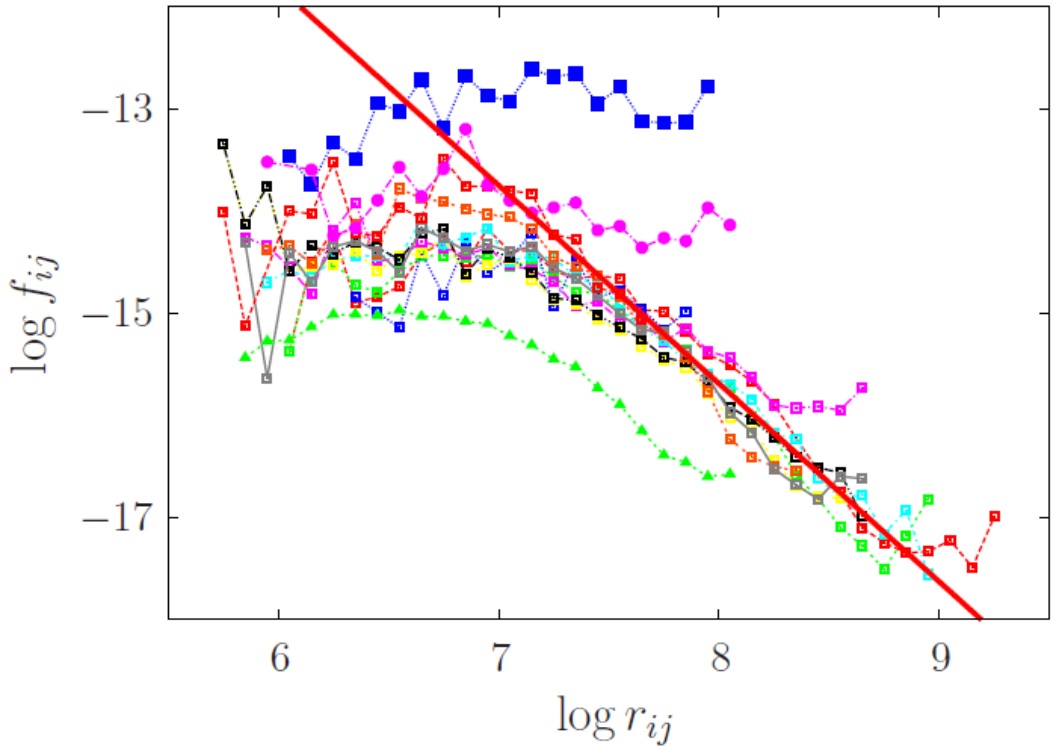
Passenger flow vs. (time) distance: Gravity model

$$F_{ij} = G\frac{M_i M_j}{r_{ij}^{\alpha}} \quad \text{or} \quad f_{ij} \equiv \frac{F_{ij}}{M_i M_j} = \frac{G}{r_{ij}^{\alpha}} \quad \rightarrow \quad \log f_{ij} = -\alpha \log r_{ij} + C$$

F_{ij}: passenger flow between station i and j

M_i: mass (strength) of station i

r_{ij}: (time) distance between station i and j



curvature around $\log r_{ij} \approx 6.5$ →
modified gravity model

$$f_{ij} = \frac{G}{r_{ij}^{\alpha}} g(r_{ij})\eta_{ij} \text{ with } g(r_{ij}) = \frac{r_{ij}^{n}}{r_{ij}^{n} + K^{n}}$$

- gravity exponent α = 1.94
- Hill coeff. n = 3.0: # of available transportation means
- time constant K = 17 min characteristic time distance

for all lines (but line 2)

보편성universality

지능: 두뇌와 학습

지능이란 무엇인가?

창조적 능력: 유사성을 넘어서 독창적 개념, 추상화

튜링 검사 Turing test:

기계의 응답을 인간의 응답과 구분할 수 없으면 인공지능

기계적 번역 "중국어 방" 반론 (J. Searle), 재반론 (e.g., Siri), 재재반론, …

cf. 인간도 태어나서 수많은 "학습"과정 후에 "지능" 작용, 이해?*

인공지능(Artificial intelligence; AI)

강한 의미 (strong AI, general I): 지각, 인식 능력, 자의식, "자아"

약한 의미 (weak AI, special I): 주어진 조건, 특정한 문제 해결에서 지능적 거동

지능: 떠오름emergence

→ 떠오름사람Homo emergens ← 떠오름교육

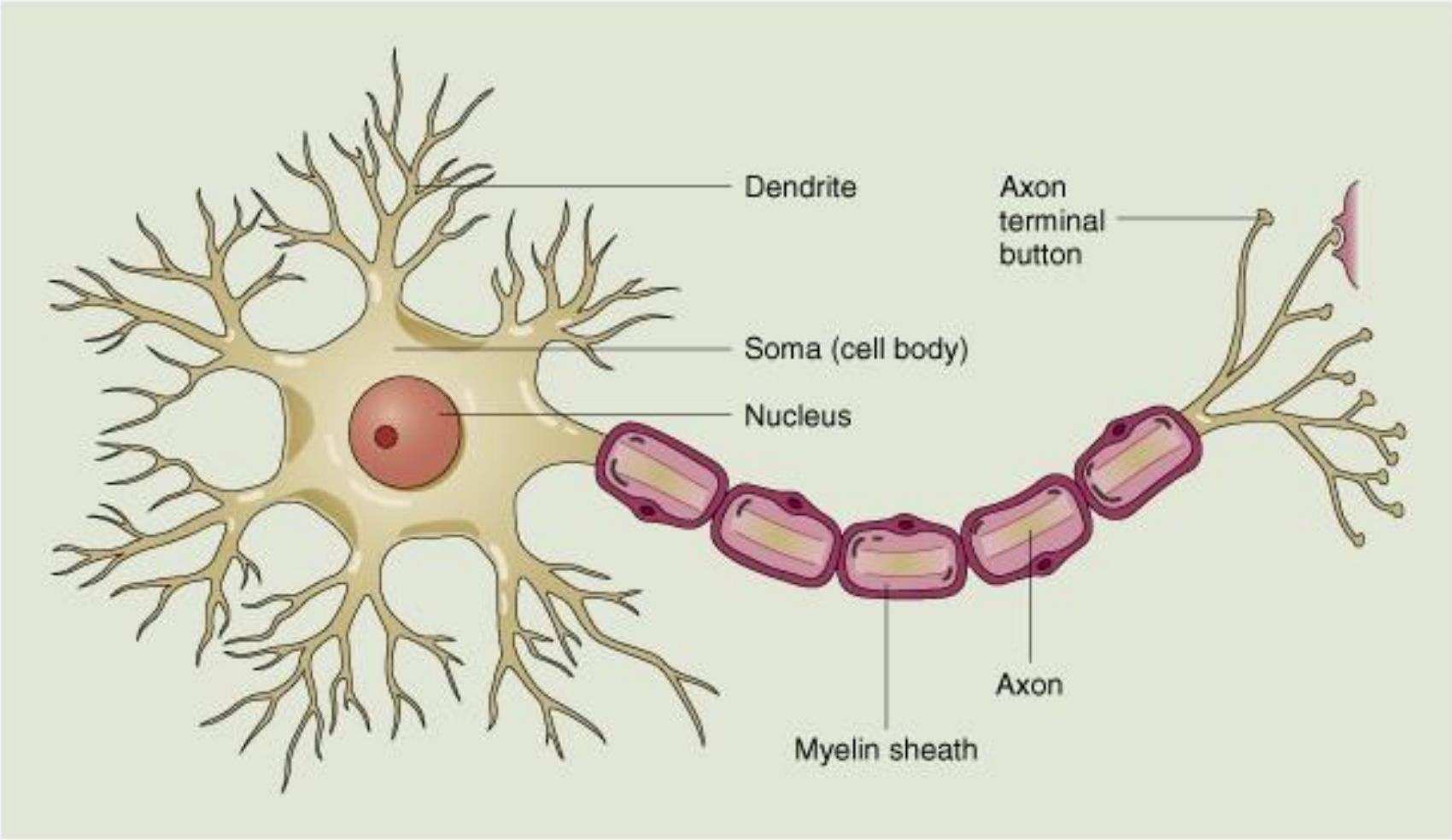
두뇌: 복잡계의 전형

두뇌 = 신경그물얼개neural network (↔ 컴퓨터) cf. 알파고?

- 정보의 저장과 만회 ← 집단성질
- 기억: 전체 계에 퍼져서 분포
- 주소가 아니라 내용에 의해 만회
  - *내용주소 기억*
  - *연상기억*
- 실수를 견뎌냄
- 빠름
- 확률적 동역학 → 착오가 줄어듦
- 평행분포 처리 (↔ 순차 처리)
  (cf. 대형 마트 ↔ 구멍가게)

복잡complex vs 번잡complicated

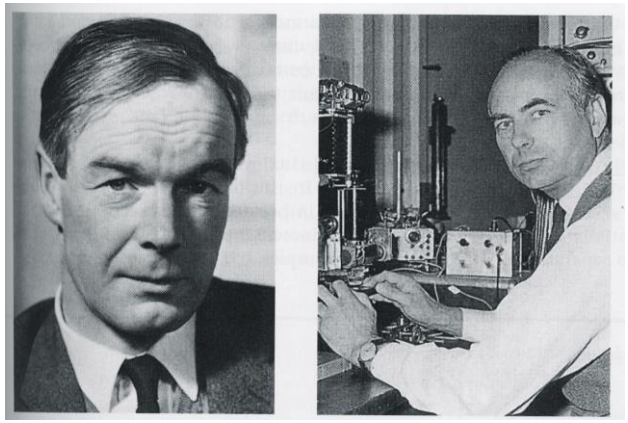
신경세포 neuron



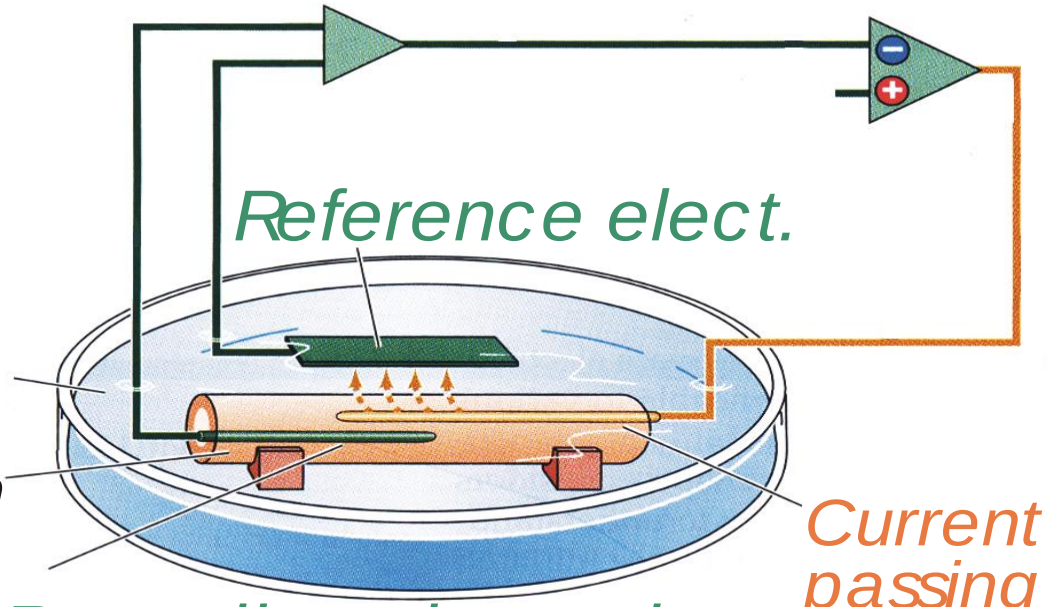
© 2000 John Wiley & Sons, Inc.

Squid opened the new era of electrophysiology

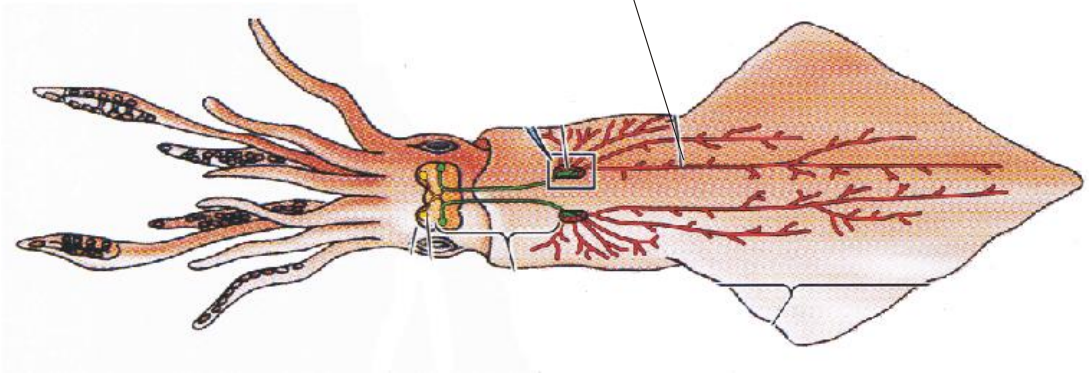
A. Hodgkin A. Huxley



Voltage-clamp experiments



Squid giant axon

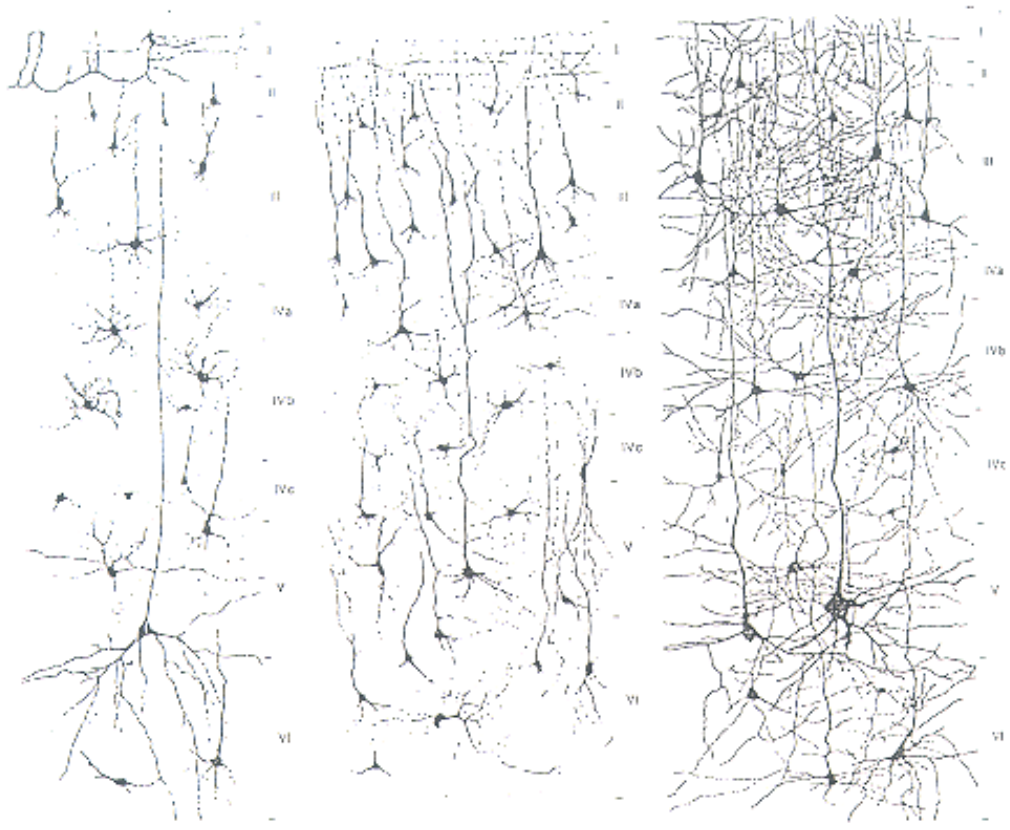


Conductance of ion channels

$g = 1/R = i/V$

사람의 시각피질에서 신경그물얼개의 발달

갓난아기 백일 두 살



유전: 유전자 → 단백질 → 시냅스 형성에 영향 기억: 조상사의 흔적

환경: 학습 → 시냅스 형성에 영향 → 유전자 유도 기억: 개인사의 흔적

생명 (복잡계): 유전적 요소 vs 환경적 요소

Nature vs Nurture

정보: 상속 vs 획득

시냅스 세기의 동역학

호지킨-헉슬리 모형 Hodgkin-Huxley model

$$C\frac{dV_i}{dt} = I_i^{ion} + I_i^{syn} + I_i^{ext}$$

$$I_i^{syn} = -\sum_j g_{ij} \sum_{t_j} \alpha(t - t_j - \tau_d)(V_i - V_{ij}^{syn}), \quad \alpha(t) \equiv \frac{t}{\tau_a} e^{-t/\tau_a}$$

$$I_i^{ext} = I_{dc} + I_i^{noise}, \quad \tau_c \frac{dI_i^{noise}}{dt} = -I_i^{noise} + \sqrt{2D}\xi_i$$

Rate of change in a synapse (spike-timing dependent plasticity)

$$\Delta g_{ij} = \int d\delta\, F(\delta) \left\langle \phi_i(t+\delta)\phi_j(t) \right\rangle, \quad \delta \equiv t_{post} - t_{pre}, \quad \phi_j(t) \equiv \sum_{t_j} \delta(t - t_j)$$

$$F(\delta) = \mp A e^{\pm \delta/\tau} \text{ for } \delta < / > 0$$

알파고: 인공지능?

알파고: 1920 CPUs + 280 GPUs (48 TPU: 45 TFLOPS/TPU)

인공지능이 아니라 고속계산기? 그러나 학습을 통해

기계학습machine learning: 프로그램 코드로 정의하지 않은 동작 실현

영상인식, 음성인식, 번역, 스스로 모는 자동차, 스팸거르개, …

정책얼개policy network (deep convolutional neural network; DCNN):

직관적으로 수, 곧 각 정책에 대한 점수 산출

3천만 수 지도학습 + 정책얼개끼리 대전시키며 강화학습

가치얼개value network (DCNN):

수의 가치, 곧 현 국면에서 이길 확률 계산

대전 기록 복기하며 강화학습

몬테칼로 탐색Monte Carlo tree search:

확률적으로 다양한 경우 탐색 (+ 남김없이 찾기?)

학습

지도학습supervised learning: 학습자료에 일일이 꼬리표(정답)를 달아줘야 함

분류classification (인식recognition), 회귀regression (맞추기fitting)

cf. 이미 학습된 신경그물얼개를 교사로 이용

자율학습unsupervised learning: 정답 없는 자료 분석하여 학습

송이나누기clustering, 분포 추정

준지도학습semi-supervise learning: 정답 없는 자료 + 일부 정답 있는 자료

자율학습과 지도학습의 사이

강화학습reinforcement learning: 현재 상태에서 어떤 행동이 최적인지 학습

외부의 보상이 최대가 되는 방향으로 학습이 진행 (물매 내려가기)

심층학습 deep learning: 깊은 신경그물얼개deep neural network 이용

여러 숨은 켜hidden layers, 앞먹임뿐 아니라 되돌이 구조도 가능

cf. AlphaGo Zero: 4 TPU, 지도학습 없이

“인공지능” 기계학습

- 무늬 인식: 사람보다 정확!

  그러나 어처구니없는 실수 (잡음 무늬를 명확한 형상으로 인식)
- 학습 자료와 다른 새로운 문제에 취약:

  사이넣기interpolation에 우수 (↔ 두뇌: 바깥늘림extrapolation 가능)
- 최적화 훈련 지점 알 수 없음: 지나치면 오차 도리어 커짐
- 너무 맞춤overfitting: 기존 유형에만 길들여져 응용문제 잘 풀지 못함
- 잠재적 위험: 특성을 알고서 취약한 부분 공격 가능

  e.g. MS사의 채팅봇 Tay, 욕설과 인종차별 등 학습 ← “일베”의 소행?

인공지능

정보 처리 (저장, 만회, 창조적 활용)

- 불평등 심화 위험성 (toys for rich)! 정보 독점 → 세계 지배 (구글?)
- 일자리 문제: 산업혁명과 러다이트Luddite 운동, 무인화, 공유 없는 공유경제*

  교수? 지식전달 ↔ 과학 연구와 예술 창작 (cf. 종교)#

  → 인간의 진정한 능력, 창의성을 구현하는 삶 (지성과 감성): 학문과 예술
- 안전 (취약성 공격, 잘못되고 위험한 결론): 의료, 보안, 법률
- 군사적 목적 (무기)
- 독점, 자본, 신자유주의 등이 문제^
- 기술을 인간과 비슷하게 끌어 올림: 도구적 합리성 (경제적 이윤), 환원론의 극단
- 지능: 생명처럼 복잡계, 이를 (환원론에 입각한) 기계처럼 간주하면 위험
- 기계가 인간(복잡계, 총체론)처럼 되는 것이 문제가 아니라 인간이 기계(기계론, 환원론)처럼 되는 것이 문제 (깊은 사유 불가능, 존재의 소외) 프레카리올precariat%

지능정보사회에서 떠오름사람: 나중사람을 넘어서

인공지능 ← 인공두뇌학Cybernetics (위너Nobert Wiener, 1962)

인간 정체성 문제: 건너사람trans-human, 나중사람(탈인간)post-human

인간과 지능형 기계의 접합체 개념에 집중

인간의 정체성 위기와 관련하여 긍정적인 결과 제시하지 못함

e.g. 시몽동Gilbert Simondon

인간과 비인간이 상호협력 관계에서 공생하는 인간-기계로서 나중사람의 이상적 모형

초연결 지능정보사회에서 인간의 정체성 진단과 위기 극복에 한계

⇒ 떠오름사람homo emergens: 나중사람을 넘어서는, 지능정보사회에서 새로운 인간의 모습

논리 능력과 상상 능력을 온전히 활용함으로써 창의성의 떠오름을 지닌 인간

통합적 사고 능력과 창의성을 겸비하여 사회적 협동능력과 집단지성의 떠오름에 기여

창의성: 과학과 예술

기계와 대비한 인간의 진정한 능력: 창의성creativity

창의성의 발휘: 학문과 예술, 특히 과학 (창의성과 논리, 인공지능을 낳음)

과학이 우리에게 주는 의미 (인간 vs 기계)

1. 과학적 사고 방식 (비판적, 합리적 과학정신, 창의성)

   과학의 위력, 동서양의 차이

2. 삶의 새로운 의미 추구: 인간 자신 포함한 전체 우주에 대한 근원적 이해

   몽매로부터 인간 해방 → 자유로운 정신 (마음의 행복) → 창의성

   새로운 과학적 세계관 → 삶의 새로운 의미

3. 현대 사회 구성원으로서의 소양

   "무자비한 자연"에 종속으로부터 해방 → 행복한 삶 (몸의 행복)

   과학의 이용 → 풍요한 사회 vs 재앙

4. 문화 유산의 근간

   인간: 과학활동의 대상이면서 주체 → 인문학, 예술

   아름다움 중요: 상상을 통한 새로운 창조 ← 창의성

과학적 사고와 지식

e.g. 갈릴레오의 실험

1. 기존 지식에 대한 의식적 반성

   전통적 권위와 당연해 보이는 보편지식에 대한 비판적 사고 ← 창의성

2. 지식의 계량적 정밀화

   정성적 기술 → 정량적 기술

3. 지식의 실증적 검토

   실험적 방법으로 구체적 예측 확인

   반증 가능성 (확증은 불가능, 절대를 지향하는 획일화 ↔ 창의성)

4. 보편지식 (이론) 체계 시도 (← 상상력 + 논리)

   단편적 특정지식들을 하나의 합리적 체계 속에서 이해 ← 창의성

   e.g. 낙하, 지구의 운동, 밀물과 썰물 ← 중력 천상과 지상의 조각남 통합

   질서의 떠오름 ← 대칭성 깨짐

상식! (→ 민주주의의 바탕, 기본전제)

물리학: 이론과학, ~물리 (천체, 화학, 생물, 의학, 경제, 사회, …)

조각을 모으려는 시도 (← 창의성)

현대사회의 난제들: 여러 영역에 걸쳐서, 분야 별 고찰로 해결 불가능*(→ 융합?)

- 환원론과 결정론 (고전물리) → 기계적 질서, 획일화 위험, 창의성 억압
- 총체론과 결정불가능성 (복잡계물리) → 새로운 가능성과 창조, 창의성

복잡성(← 떠오름) 창의성의 핵심

여러 기능성, 모호함, 비효율, 불완전 ↔ 질서정연

환경과 교류, 변화에 유연한 응답 → 총체성 (온생명, 온문화)

구성요소: 자율성, 자유로우나 상호참여를 통해 결맞는 전체 이룸

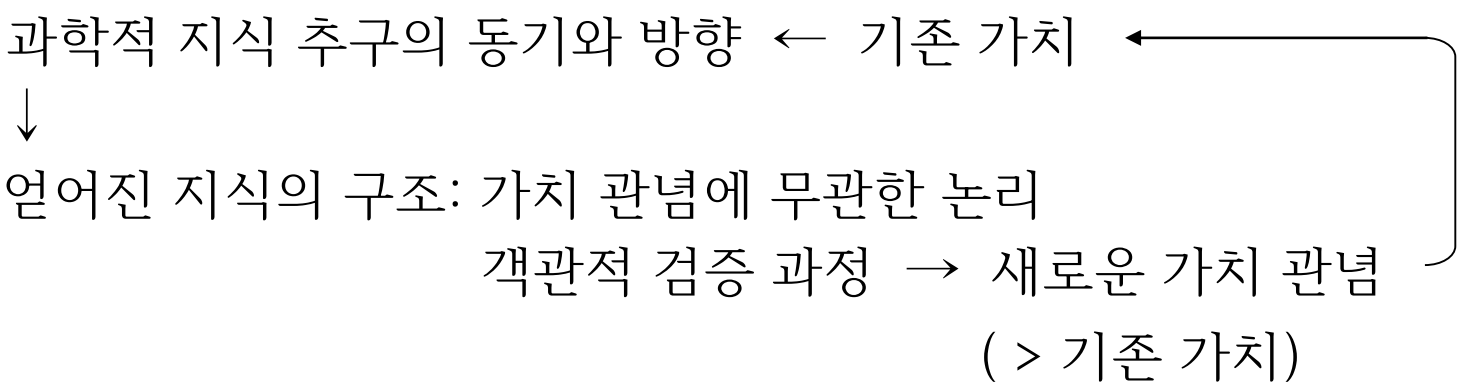
번잡complicated vs 복잡complex

인공물 (기계, 컴퓨터) vs 자연물 (복잡계) ← 부품/구성원 고장에 대한 응답

- 인공 신경그물얼개: 일일이 사람이 설계
- 자연 신경그물얼개 (두뇌): 스스로 설계 자기학습에 의해 시냅스 변화

과학의 발전

과학 ⇄ 가치 관념



나선형 순환 → 새로운 지식

기존 가치 보다 큰 새로운 가치 창조 (창의성) ← 논리가 아니라 상상력

cf. 논리와 결정불가능성undecidability

← 야릇한 고리

의미의 소통: 한 단계 위에서의 고찰

논리와 결정불가능성

불완전성 정리 incompleteness theorem K. Gödel

수학적 구조는 무한히 많은 수준들을 지니며, 각 수준에서 모든 진리를 하나의 일관된 체계에 담을 수 없다.

⟹형식논리 체계에는 그 안에서 증명할 수 없는 명제가 존재하며, 이를 증명하려면 그 체계를 포함하는 상위의 체계가 필요하나 이 체계에는 또한 그 안에서 증명할 수 없는 명제가 존재한다.

형식논리 체계의 자멸

"Pure mathematics is the subject in which we do not know what we are talking about, nor whether what we are saying is true."

B. Russell

수학 전체의 공식화 불가능: 환원론 실패
수학(적 방법): 추상적이라 구체적인 실재성 결여 우려.
계산에 치중 → 추상화의 출발점 잊기 쉬움

통합적 사고

지능정보사회에서 인문학의 중요성

과학과 기술 (인공지능 등) ← 인간의 창의성

창의성: 인간의 삶, 언어와 문화 "인문학"

⇒ 과학과 인문학의 만남: 통합적 사고 모색

인문학을 (복잡계)과학의 최신 성과를 통해 검토

인문학을 통해 인간의 정체성과 사회 문제 등 과학 발전의 전망과 성찰의 지혜

인공지능 → 유토피아Utopia vs 디스토피아Dystopia

진화론적 전개 → 복잡성 (e.g. 생명, 사회, 온생명, 인공지능?)

의미 ← 감각, 상징

복잡계 모음

- 물질matter

  초전도체, 유전체, 자성체, 전하밀도파동, 유리(창, 스핀, 전하, 게이지), 이온성액체, 가루, 액정, 자라남, 결합떨개, 섬유다발, 물, …

- 생명life

  단백질, DNA, 세포막, 물질대사, 기공, 내분비와 조절계, 자가포식, 두뇌, 때맞음 (염통 박동, 뇌전자도, 생체주기, 반딧불이, 귀뚜라미, 새 떼, 달거리 주기, 손뼉치기), 동작, 잠, 생태계와 진화, …

- 사회society

  교통그물얼개, 여론 형성, 주거지 분화, 건축물 분포, 죄수의 난제, 다단계 판매, 주식시장, 금융, 사회의 자라남, 최적화 문제, …

- 인문 예술humanities and arts

  언어, 문학 (시), 음악, 미술 작품, 문화,…

다양성 가운데에 보편성

복잡계 문학 (시) 최인령·최무영

복잡성: 커다란 변이가능성 ← 떠오름

형식 분석과 상징 해석 ← 환기evocation

- 뭇알갱이계 ← 많은 구성요소 날말, 문장
- 비선형 상호작용 → 번잡한 거동 병렬법(연, 운, 율격) (↔ 문법; 선형)
- 열린 흩어지기 구조 → 환경 개인, 시대에 따라 열린 해석
- 질서와 무질서 사이 → 고비성질 규칙성과 불규칙성
- 동역학 중요 → 비평형 해석의 역동성
- 기억 → 적응

핵심 재료: 쩔쩔맴frustration 어긋난 기다림 frustrated waiting

→ 많은 (준)안정 상태

→ 커다란 변이가능성

통합학문?

과학: 물질
인문학: 의미

} 정보 해석

Everything is particles. 물질

Everything is fields. 에너지

Everything is information. 정보

J.A. Wheeler

해석학hermeneutics:
theory of understanding and interpretation of expressions and communication

통합과학 + 인문학(해석학) = 통합학문?

"교양"liberal arts: 자유로운 비판적 사고, 보편지식 추구

인문, 사회, 자연 → 통합학문 정보의 획득, 처리, 해석