국내 통계물리그룹의 최근 연구 동향

DOI: 10.3938/PhiT.22.027

노재동

Current Research Activity within the Korean Statistical Physics Community

Jae Dong NOH

This article presents a general survey of current research activities within the Korean statistical physics community. The tradition of statistical physics in Korea starts from the late Professor Soon-Tahk Cho in the 1970s. The community has continued to grow since then, and nowadays more than 200 members are working actively on various research topics. I classify the research topics into eight categories: phase transitions and critical phenomena, scaling in dynamical systems, nonequilibrium statistical mechanics, soft matter physics, quantum systems, disordered systems and glassy dynamics, biophysics, and complex systems. For each category, the research agenda and the research groups are introduced.

서론

통계물리학의 시조로는 Ludwig Boltzmann(1844-1906)을 꼽을 수 있다. 그는 거시계의 물성과 열 및 일 에너지의 흐름에 관한 현상론인 열역학에 확률의 개념을 더하여 통계물리학의 이론체계를 정립하였다. 거시상태의 열역학적 엔트로피(S)와 거시 상태를 이루는 미시상태의 경우의 수(W) 사이의 관계식 $S = k_B \ln W$ 은 Boltzmann의 업적을 함축적으로 보여준다.

저자약력

노재동 교수는 서울대 물리학과 이학박사(1997)로서, University of Washington (Seattle, USA), 서울대학교 CTP, 인하대학교, University of Saarland (Germany)에서 Post-doc. (1997-2003), 충남대학교 물리학과 교수(2003-2006)를 거쳐 2006년부터 현재까지 서울시립대학교 물리학과 교수로 재직 중이다. (jdnoh@uos.ac.kr)

거시계의 물성을 미시적으로 접근할 수 있게 해주는 가교 역할을 하는 이 관계식은 Vienna에 있는 Boltzmann의 묘비에 새겨져 그의 업적을 기리고 있다.

대한민국에 통계물리학의 씨앗을 뿌린 이로는 고 조순탁 선생(1925-1996)을 꼽는다. 그는 University of Michigan에서 George Uhlenbeck(1900-1988)에게 사사하여 1958년에 “The kinetic theory of phenomena in dense gases”라는 제목의 논문으로 박사학위를 취득하였다. Uhlenbeck은 1925년에 Samuel Goudsmit (1902-1978)과 함께 전자의 스핀을 발견한 바가 있으며 또한 random walk 이론의 발전에 많은 공을 세웠다. Uhlenbeck은 Paul Ehrenfest(1880-1933)의 제자이다. Ehrenfest는 Niels Bohr(1885-1962), Albert Einstein(1879-1955) 등과 교류하며 양자역학의 태동과 상전이 이론의 발전에 기여한 물리학자이다. Ehrenfest가 Boltzmann의 제자 중에 하나였던 점을 생각하면 대한민국의 통계물리학계는 Boltzmann의 학문적 후예라고 할 수 있다. 조순탁 박사 이후에 국내의 통계물리학계의 역사는 한국물리학회 50주년에 발간된 한국물리학사 50년사에 잘 소개되어 있다.

통계물리학 연구의 핵심 키워드는 상관관계(correlation)와 요동(fluctuation)이다. 입자계에서 국소적으로 일어난 변화는 입자 사이의 상호작용을 매개로 하여 시공간적으로 확산된다. 강한 상관관계는 고체, 강자성, 혹은 초전도 상과 같은 질서상(ordered phase)을 만들어 낸다. 반면에 열적(thermal) 및 비열적(non-thermal) 잡음으로 인해 발생하는 요동은 상관관계를 방해하여 무질서 상(disordered phase)을 만들어 낸다. 상관관계와 요동은 물질계뿐만 아니라 다양한 생물학계 및 사회학계에서 중요한 역할을 한다. 이러한 이유로 통계물리학의 연구 분야는 그 스펙트럼이 매우 다양하다. 저자는 이 글을 통하여 국내 통계물리그룹의 최근 연구 동향을 소개하고자 한다. 한국물리학회의 통계물리 분과에는 2010년 기준으로 약 220명의 회원이 활동하고 있다. 이들의 연구 분야를 모두 소개하는 것은 불가능한 일이기에, 2000년대 이후에 중점적으로 연구되고 있고 STATPHYS25의 세부분야와 오버랩이 큰 분야를

L. Boltzmann P. Ehrenfest G. Uhlenbeck 조순탁

Fig. 1. Pioneers of statistical physics.

주로 소개하려고 한다. 저자의 짧은 식견으로 인해 이 글에 미처 소개되지 못하거나 부정확하게 소개되는 부분이 있을 수 있기에, 독자들에게 미리 양해를 구하며 글을 시작한다. 편의상 각 연구자에 대한 존칭은 생략하겠으며, 양이 방대한 관계로 각 연구자의 연구업적에 대한 인용 역시 생략하겠다.

본 론

1. 상전이와 임계현상

상관관계와 요동의 경쟁의 결과로 다체계는 질서 상(ordered phase)과 무질서 상(disordered phase) 사이에 상전이를 겪는다. 상전이가 일어나는 임계점 근처에서는 물리계의 물성이 외부 변수에 비례적으로 의존하는 임계현상이 나타난다. 상전이와 임계현상의 보편성을 밝히는 것은 통계물리학의 중요한 연구주제이다.

일정한 부피의 공간에 정해진 비율의 부도체와 도체 알갱이를 섞어 만든 샘플을 생각하자. 도체 알갱이의 비율 p 가 커지면 샘플은 부도체에서 도체로의 스미기(percolation) 상전이를 일으킨다. 상전이가 일어나는 원인은 도체 알갱이의 비율이 임계값을 넘으면 도체 알갱이가 conducting path를 형성하기 때문이다. 대개의 경우 스미기 상전이가 일어날 때 물리량은 연속적으로 변한다. 이러한 경우를 연속 상전이라고 부른다. 그런데 2009년에 불연속 스미기 상전이를 일으키는 수학적 모형이 Achlioptas, D'Souza, Spencer에 의해 Science지에 보고되었고, 이는 학계에 커다란 논란을 불러 일으켰다. 이에 강병남(서울대), 김범준(성균관대), 김엽(경희대), 박형규(KIAS), 손승우(한양대), 육순형(경희대) 그룹이 논의에 참여하여, 스미기 상전이의 다양한 특징을 밝혔으며 연속/불연속 논란의 해결에 기여하고 있다. 최근에 강병남(서울대)과 노태원(서울대) 그룹은 스미기 상전이 메커니즘으로 메모리 소자의 작동원리를 설명하여 각광을 받았다. 이 연구는 특집호의 다른 기사에 상세히 소개되어 있다. 노태원(서울대)은 이 연구 성과를 2013년 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS에서 기조강연을 통해 발표할 예정이다.

비평형 동역학계는 상전이를 일으킬 수 있다. 간단한 예로서 전염병이 확산하는 과정을 생각해 보자. 병에 감염된 개체는 일정한

비율로 병에서 회복되거나 이웃의 건강한 개체를 감염시킬 수 있다. 치유와 감염 사이의 경쟁의 결과로 계는 전염이 소멸된 상태와 전염이 영원히 지속되는 상태 사이의 비평형 상전이를 겪는다. 평형계에서 일어나는 상전이의 보편성류는 잘 정립되어 있는데 반해, 비평형 상전이의 보편성류는 잘 정립되어 있지 않다. 계의 대칭성 및 동역학의 보존법칙에 따른 비평형 상전이의 보편성류를 확립하기 위한 연구가 김봉수(창원대), 김엽(경희대), 노재동(서울시립대), 박수찬(가톨릭대), 박형규(KIAS), 이상범(경북대), 이승종(수원대) 그룹에서 활발히 진행되고 있다. 특히 박형규(KIAS)는 비평형 상전이 연구의 성과를 인정받아 2007년 Genova (Italy)에서 열린 23회 STATPHYS에서 초청연사로 선정된 바 있다.

각각이 서로 다른 고유 진동수를 갖는 진동자가 상호작용할 때, 고유 진동수의 요동과 상호작용의 경쟁에 의해 유한한 비율의 진동자가 같은 위상으로 운동하는 때맞춤(synchronization) 상전이가 일어날 수 있다. 이러한 현상은 반딧불이 무리 같은 생물계 및 Josephson junction array같은 물리계에서 흔히 관측된다. Kuramoto 모형은 이 현상을 기술하는 가장 간단한 모형으로서 모든 진동자가 다른 모든 진동자와 상호작용한다는 가정을 품고 있다. 최근 들어 진동자가 공간적으로 분포하며 상호작용의 거리가 유한할 경우에 일어나는 때맞춤 현상에 대한 관심이 높아지고 있다. 공간 차원에 따른 때맞춤 상전이의 존재 유무, 상전이의 속성, 고유 진동자의 분포의 역할 등에 대한 연구가 박형규(KIAS), 손승우(한양대), 하미순(조선대), 홍현숙(전북대) 그룹에서 진행되고 있다.

상전이의 연구에는 컴퓨터를 이용한 수치계산이 중요한 역할을 차지한다. 김승연(교통대), 이주련(숭실대) 그룹은 복소평면에서 분배함수의 근을 이용하여 상전이를 연구하는 수치방법을 적용범위를 고전적인 스핀계 및 bio polymer계로 확장하는 연구를 진행하고 있고, 곽우섭(조선대) 그룹은 Monte Carlo simulation 알고리즘의 하나인 Wang-Landau 알고리즘을 발전시켜 거대계산을 효율적으로 수행할 수 있는 수치 알고리즘을 개발하는 연구를 수행하고 있다.

2. 동역학계의 축척현상

동역학계에서 요동은 특정한 축척법칙을 따르며 시공간으로 전파된다. 성장하는 결정 표면 혹은 두 매질 사이의 경계면의 거칠기는 동역학적 축척법칙을 가장 잘 드러내주는 예의 하나이다. 표면의 거칠기는 시간과 거리에 거듭곱 함수의 형태로 증가하며, 거듭곱 함수의 임계지수는 공간의 차원 및 동역학의 대칭성 등에 따라 분류되는 몇 개의 보편성류로 구분된다. 이 분야는 1990년대부터 통계물리학의 연구가 집중적으로 이루어진 분야임에도 불구하고 여전히 중요한 해결과제가 남아있다. 그 중의 하나는 Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) 보편성류에 속하는

경계면에 관한 것이다. (1+1)차원에서의 KPZ 경계면의 통계적인 특징에 대한 엄밀한 해석적인 연구업적이 최근에 보고된 바가 있다. University of Tokyo의 Kazumasa Takeuchi 박사는 실험 연구를 통하여 이론 연구의 결과를 검증한 업적으로 IUPAP에서 제정한 Young Scientist Prize를 STATPHYS25에서 수상할 예정이다. 이 밖에 KPZ 경계면이 roughening transition을 일으키는 upper critical dimension, disorder에 의한 KPZ 경계면의 pinning-depinning transition, 프랙탈 기관 위에서의 결정하는 결정 표면 등에 관한 연구가 학계에서 진행 중이다. 국내에서 이 분야에 대한 연구는 김엽(경희대), 김진민(숭실대) 그룹에서 수행하고 있다.

마구걷기(random walk) 운동은 수송현상의 기본 메커니즘으로서 20세기 초반부터 통계물리학의 중요한 연구 주제로 자리잡고 있다. 마구걷기에 의한 확산현상은 시간과 거리 사이의 멍함수 관계로 표현되는 동역학적 축척법칙을 만족한다. 최근에 마구걷기 운동은 세포 내에서 일어나는 유전자 발현을 조절하는 신호 전달 메커니즘으로 새롭게 각광받고 있다. 국내에서는 무질서한 매질에서의 일어나는 마구걷기 운동의 동역학적 축척 현상과 마구걷기 운동에 의한 정보의 전달 동역학 등에 관한 연구를 강병남(서울대), 노재동(서울시립대), 이덕선(인하대) 그룹에서 진행하고 있다.

3. 비평형 통계물리

비평형계는 21세기에 통계물리학 연구의 새로운 신천지이다. 일정한 온도의 열저장체와 평형을 이루고 있는 평형계는 미세균형(detailed balance)을 만족하는 동역학을 갖고 있으며 정상상태에서의 확률분포가 Boltzmann 분포를 따른다. 반면에 시간에 의존하는 섭동을 받거나, 비보존력에 의해 구동되거나, 두 개 이상의 열저장체와 접촉하는 계는 열적 평형상태에서 벗어나 비평형 상태에 있게 된다. 물리학의 주된 관심 대상인 나노중시계 및 단분자 생물계는 시간에 의존하는 섭동 및 외력에 의해 구동되고 있으며 또한 강한 열적 요동에 노출되어 있다. 이런 면은 비평형 통계물리학 연구의 중요성을 잘 보여주고 있다.

평형계와 대비해서 비평형계는 정상상태에서 Boltzmann 분포를 따르지 않고, 일 및 열 에너지의 흐름이 있고, 시간에 대한 비가역성을 갖는 것이 그 특징이다. 1990년대 후반에 열역학적 물리량인 열(heat), 일(work), 엔트로피(entropy)를 계의 time trajectory에 의존하는 범함수로 정의하여 비평형 과정을 기술하려는 시도가 있었다. 요동정리(fluctuation theorem)는 이러한 접근 방법에서 얻은 가장 대표적인 연구 성과이다. 요동정리는 비평형 과정에 수반되는 일에너지의 양 및 엔트로피 증가량의 확률분포가 특정한 항등식을 만족함을 의미한다. 일 에너지에 관한 Jarzynski 항등식과 Crooks 관계식이 그 예이다. 국내에서는 모

형계를 통하여 비평형 요동정리의 함의를 이해하고 열역학적 물리량의 요동과 그들 사이의 상관관계를 이해하려는 연구가 진행 중이다. 이 분야에서는 권철안(명지대), 김용운(KAIST), 노재동(서울시립대), 박형규(KIAS), 이주연(부산대) 그룹에서 이론 연구를 수행하고 있고, 박형규(부산대) 그룹에서 관련된 실험 연구를 수행하고 있다. 노재동(서울시립대)은 비평형 과정에서 수반되는 열 에너지 흐름의 요동에 대한 연구 성과를 인정받아 2013년 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS에서 초청연사로 선정되었다.

비평형 과정은 시간에 대해 비가역적이고 엔트로피의 증가를 수반한다. 최근에 국내의 연구진은 운동량에 의존하는 힘에 의해 구동되는 비평형계의 비가역성 및 엔트로피 증가에 관한 중요한 논문을 발표했다. 이 연구는 시간에 대한 비가역성과 엔트로피에 대한 근본적인 질문을 던지고 있어서 학계의 비상한 관심을 불러일으킬 전망이다. 이 연구는 권철안(명지대), 박형규(KIAS), 여준현(건국대) 그룹에서 수행하고 있다.

열역학계의 상태를 측정하여 정보를 획득하고 그 결과를 되먹임하여 계를 조절함으로써 우리는 열역학계로부터 일 에너지를 추출할 수 있다. 예를 들어서 일정한 부피의 상자 속에 있는 온도가 일정한 이상기체계를 생각해보자. 상자는 작은 문이 달린 칸막이에 의해 두 쪽으로 나뉘어져 있다. 이제 Maxwell의 도깨비라고 불리는 가상의 존재를 도입하자. 도깨비의 역할은 기체 분자의 속도를 측정한 후 적절히 칸막이의 문을 여닫아서 속력이 높은 기체 분자는 칸막이의 오른쪽으로 속력이 낮은 기체 분자는 칸막이의 왼쪽으로 몰아넣는 것이다. 도깨비의 작용으로 칸막이 양쪽에 온도차이가 생기고 이를 이용하면 일 에너지를 생산할 수 있게 된다. Maxwell의 도깨비의 도움으로 작동하는 열기관을 Szilard engine이라고 한다. 일견 열역학 제2법칙에 위배되는 듯한 Szilard engine은 측정과 되먹임 과정에 수반되는 정보 교환이 엔트로피 변화와 근본적인 차원에서 밀접한 관계가 있음을 시사한다. University of Tokyo의 Takahiro Sakawa 교수는 이 분야의 연구업적을 인정받아 IUPAP에서 제정한 Young Scientist Prize를 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS에서 수상할 예정이다. 국내의 김상욱(부산대) 그룹은 고전역학 혹은 양자역학적인 이상기체로 구성된 Szilard engine의 작동원리에 대한 연구를 수행하고 있다.

4. 연성물질물리(Soft matter physics)

연성 물질은 액체, 콜로이드, 생체막(bio membrane), 액정, 알갱이 계(granular system), 폴리머 등과 같이 외력 혹은 열적 요동에 의해 쉽게 변성되는(deformed) 물질을 말한다. 이 물질은 요동의 효과가 매우 강하게 작용하며, 자체 조직(self-organization)과 패턴형성과 같은 특성을 보인다. 이 분야의 연구 주제를 열거하면 다음과 같다: 액정의 상전이, 알갱이 계의

Fig. 2. Operation of the Szilard engine [taken from S. W. Kim *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, 070402 (2011)].

패턴 형성, 생체막 융합, 이중나선 DNA의 수퍼 코일 및 버블 형성, 바이오 폴리머와 생체막 사이의 상호작용, 공간적으로 제한된 폴리머에 대한 분자 동역학 연구 등이 있다. 국내에는 김만원(창원대), 김용운(KAIST), 박혁규(부산대), 성우경(Postech), 정영균(KISTI) 그룹이 연구를 수행하고 있다.

5. 양자계의 통계물리학

양자역학계의 통계역학적 특성은 계의 Hamiltonian을 Bethe ansatz와 같은 해석적인 방법 혹은 exact diagonalization과 같은 수치방법을 사용하여 대각화함으로써 연구할 수 있다. 한편 d 차원의 양자역학계는 $(d+1)$ 차원의 고전적인 통계역학계로 매핑할 수 있다. 이러한 매핑을 이용하여 이지우(명지대), 차민철(한양대) 그룹에서는 boson Hubbard 모형의 물성 및 상전이에 대한 연구를 수행하고 있다.

김은성(KAIST)은 헬륨(^4He)을 2.176 K 이하로 냉각하였을 때 고체상(solid phase)의 특성과 점성이 사라지는 특성을 동시에 갖는 새로운 물질의 상태인 초고체상(supersolid phase)을 발견하였다. 이 연구는 2013년 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS에서 초청강연을 통해서 소개될 예정이다.

6. 무질서계의 유리 상전이 및 유리 동역학

무질서계의 경우 불순물 주위에서 국소적인 질서 상이 생기지만 전체적으로는 무질서 상에 있는 유리 상(glass phase)이 생길 수 있다. 상호작용의 세기에 무작위적으로 주어지는 스핀 모형에서 일어나는 유리상전이(glass transition)는 통계물리 및 응집물질 물리학 분야에서 오래된 난제 중 하나이다. 유리상전이에 대한 이론으로는 무한차원에서 정확해지는 평균장 이론이 있으나, 그 이론의 예측이 유한 차원에서도 성립하는지에 대해서는 논란의 여지가 많다. 여준현(건국대) 그룹은 replica 방법과 재규격화군(renormalization group) 이론을 이용하여 유한 차원에서 일어나는 유리상전이의 보편성류에 관한 연구를 수행하고 있다.

녹는점 온도 아래로 과냉각된 액체에는 많은 수의 준안정

(metastable) 상태가 존재하여 무질서계에서와 같이 유리상의 특징을 보이고, 매우 느린 완화 동역학(relaxation dynamics)을 보인다. 과냉각 액체에서 발견되는 유리상이 열역학적인 의미의 유리 상전이의 결과로서 나타난 건지 혹은 단순한 교차(crossover)로서 나타나는지에 대해 학계에는 큰 논란이 있다. 또한 느린 유리 동역학을 해석적으로 이해하고자 하는 다양한 시도가 있다. 김봉수(창원대), 여준현(건국대) 그룹은 재규격화군 이론, 장론적 접근 방법, 모드결합이론(mode coupling theory) 등의 해석적인 방법으로 과냉각 액체의 상전이와 유리 동역학에 대한 연구를 수행하고 있다.

7. 생물물리

이 분야에서는 단분자, 세포, 개체, 군집 레벨의 다양한 차원 생물학계에 대한 연구가 진행되고 있다. 마그네틱 트위저와 형광 현미경은 생물학적 단분자에 대한 조작과 측정을 가능케 하였다. 이러한 실험적 방법과 통계물리학적 이론을 결합한 협동연구를 통하여 생체 단분자의 구조 전이, DNA chain의 역학적 물성, DNA의 삼중 나선 구조, DNA 이중 나선 구조의 감기는 방향이 변하는 B-Z 상전이 등에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 연구는 이남경(세종대), 현창봉(KIAS), 홍석철(고려대) 그룹에서 수행하고 있다.

단백질이 세포 내에서 기능을 수행하기 위해서는 유전정보에 따라 아미노산의 결합으로 합성된 후에 고유의 3차원 구조로 접혀야만 한다. 국내의 연구진은 수치적인 최적화 알고리즘을 이용하여 단백질의 접힘 메커니즘의 이해와 3차원 구조의 예측에 관한 연구를 수행하고 있다. 이 분야의 연구자로는 이승종(수원대), 이주련(숭실대), 이주영(KIAS) 그룹이 있다.

생체 기관은 그를 구성하는 세포들의 상호작용의 결과로 고유의 기능을 수행한다. 신경세포들은 신경망을 통해 상호작용하여 동기화된 집단거동을 보이고 학습과 기억의 작용을 담당한다. 분자 모터(molecular motor)는 생화학 에너지와 열적 요동을 이용하여 생체에 필요한 역학적인 에너지를 공급한다. 귀에서는 공기압의 미세한 변화를 증폭하고 이를 전기 신호로 변화하여 소리를 들을 수 있게 한다. 이 과정은 세포기관의 비선형 동역학에 크게 의존한다. 심장을 이루는 근육 세포는 수축과 이완을 통하여 이웃한 세포와 상호작용하여 다양한 시공간적 패턴을 만들어 낸다. 아메바는 개체와 개체 사이에 생화학적 신호를 주고 받으며 복잡한 trail pattern을 형성한다. 국내의 연구진은 이론 및 실험 연구를 통해 생물학적 구성요소들이 비선형적 상호작용의 결과로 만드는 패턴을 찾고 이로부터 생물학적/의학적인 응용 가능성을 탐구하고 있다. 이 분야의 연구자로는 안강현(충남대), 이공주복(이화여대), 이경진(고려대) 그룹이 있다. 이경진(고려대)은 생물물리 분야의 패턴형성

연구의 성과를 인정받아 2013년 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS의 초청연사로 선정되었다.

계산뇌과학(computational neuroscience)은 생물물리 및 학제간 융합 연구에서 새롭게 부각되고 있는 연구 분야이다. 계산뇌과학에서는 뇌의 신경망 구조, 뇌의 정보처리 능력, 뇌의 인지 기능에 대한 이론적인 이해를 연구 주제로 삼고 있다. 통계물리학계에서는 김승환(Postech), 최무영(서울대), 국형태(가천대), 한승기(충북대) 그룹이 이 분야의 연구에 참여하고 있다.

8. 복잡계 연구

복잡계는 많은 구성 성분들이 상호작용하고 그 결과로 개체 수준에서 볼 수 없는 보편적인 집단현상을 발현하는 계를 의미한다. 복잡계 연구가 물리학계에서 주목받기 시작한 것은 1999년에 정하웅(KAIST)이 R. Albert, A.-L. Barabasi와 함께 World-Wide-Web의 구조를 네트워크 이론으로 분석한 결과를 Nature지에 발표한 것이 그 계기가 되었다. 이 후에 다양한 분야의 복잡계를 네트워크 이론으로 분석하려는 시도가 계속되고 있다. 복잡계를 구성하는 개체를 노드(node)로 삼고 상호작용하는 개체 사이를 에지(edge)로 이으면 복잡계에 뼈대를 해당하는 네트워크를 얻을 수 있다. 복잡계 네트워크 이론은 복잡계의 구조, 시간에 따른 구조의 진화, 복잡계의 동역학을 연구하는 이론적 토대를 제공해준다. 국내에는 열거할 수도 없을 만큼 많은 수의 연구자가 복잡계 네트워크 이론 분야에서 괄목할 만한 연구 성과를 내고 있다. 이러한 연구의 성과로 2004년에 Bangalore (India)에서 열린 제22회 STATPHYS에서는 김두철(KIAS)이, 2010년에 Cairns (Australia)에서 열린 제24회 STATPHYS에서는 정하웅(KAIST)과 이덕선(인하대)이 초청연사로 선정된 바 있다. 또한 2013년에 서울에서 열리는 제25회 STATPHYS에서는 김범준(성균관대)이 초청연사로 선정되었다.

각각의 사회는 서로가 구별되는 고유의 특성을 갖고 있는 동시에 공통적으로 갖는 보편적인 사회현상을 공유한다. 복잡계 물리학에서는 물리학의 지평을 넓혀서 빅데이터의 분석을 통하여 사회현상에 존재하는 보편성을 탐구하려는 시도가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 연구진은 사회 구성원의 행동 및 이동 패턴, 게임 이론, 사회 구성원 사이의 정보의 전파, 자원의 분배, 사회의 교통망, 소셜 네트워크 서비스를 통한 인간 네트워크의 구조 등에서 찾을 수 있는 보편적 원칙을 이해하기 위해 노력하고 있다. 이 연구는 강병남(서울대), 김범준(성균관대), 김엽(경희대), 손승우(한양대), 육순형(경희대), 정하웅(KAIST), 정우성(Postech), 정형채(세종대), 최무영(서울대) 그룹에서 수행하고 있다.

생물학에 연관된 복잡계 연구 분야는 유전자와 질병 사이의 연관 네트워크 분석, 세포 내에서 일어나는 신진대사 및 전사 조절 과정에 대한 네트워크 이론 분석 등이 있다. 이 분야의

Paek

Fig. 3. Interaction network of proteins in the yeast [taken from H. Jeong *et al.*, Nature **411**, 41 (2001)].

연구는 고광일(고려대), 김철민(UNIST), 김관준(APCTP), 이덕선(인하대) 그룹에서 수행하고 있다.

진화 동역학 역시 생물 복잡계 연구의 중요한 연구 주제이다. 복잡한 구조를 갖는 적합도 풍경(fitness landscape)에서 돌연변이에 의해 일어나는 진화 과정에 대한 통계물리학적 모형의 정립, 생물종의 분화, 유성/단성 생식의 진화론적 차이점 규명을 목표로 박수찬(가톨릭대), 박정만(가톨릭대) 그룹에서 연구를 수행 중이다.

경제물리학 분야에서는 환율, 주가지수와 같은 경제 시계열의 분석, 경제 주체에 대한 복잡계 네트워크 분석, 시장의 동역학을 반영하는 행위자 기반 모형(agent based model) 등에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이 분야의 연구자로는 김경식(부경대), 오갑진(조선대), 이재우(인하대), 정우성(Postech) 그룹이 있다.

맺음말

지금까지 국내에서 진행되는 통계물리학의 연구 현황을 소개하였다. 이 글은 국내에서 진행되는 통계물리학 연구 분야를 인접 전공분야의 물리학자에게 소개하여 짧게는 2013년 7월 22-26일 동안 서울대학교에서 열리는 STATPHYS25에 대한 관심을 불러일으키고 길게는 공통 관심사에 대한 협동연구를 도모하는 계기가 되었으면 하는 바람으로 작성되었다. 서두에서도 밝혔지만 본 글에 소개되지 못하거나 내용이 그릇되게 소개된 부분이 있다면 이는 오로지 저자의 짧은 식견 때문이니 부디 양해를 부탁드립니다. 이 글을 작성하는 데 필요한 자료를 수집하는 데 도와준 서울시립대학교 물리학과 대학원생인 심평섭, 김민아, 천현명, 박종민에게 감사의 말을 전하며 글을 마친다.