Historia Mathematica Vol. 12, No. 2, 1999, 167-169

수학의 향후 전망*

Institut des Hautes Études Scientifiques **Mikhael Gromov**
동양공업전문대학 전산경영학부 **이은구**

다가오는 미래에 수학이 발전해 나아갈 가능한 방향들을 몇 가지 제시하고자 한다.

1. 고전수학은 구조의 조화에 대한 탐구이다. 삼차원 연속체가 훌륭한 회전과 이동의 대칭(군 $O(3)$과 R^3)을 가지고 있다는 것이 고대 그리스 기하학자들에 의해 알려지기 시작하였다. 이 대칭 성질은 물리적인 세상에서는 필수적인 성질이다. (우리가 아무리 평상시 걷는 것과 같은 기계적인 운동을 경험하고 사용한다 할지라도 지적으로 이러한 대칭에 대해서는 장님과 다름없다. 이것은 부분적으로 이해하기 어려운 $O(3)$의 비교환성에 기인한다.) 상대성에서의 Lorentz와 Poincare, 기본 입자에 대한 게이지 군, 대수기하와 수론에서의 Galois 대칭 등과 같은 비교환적인 대칭들이 발견되었다. 그리고 이보다 덜 기본적인 수준인 결정과 준결정상태, 프랙탈, 동역학계와 통계역학에서의 자기유사성, 미분방정식에서의 monodromy 등에서 유사한 수학이 다시 나타난다. 우주구조에서의 대칭과 규칙성에 대한 연구는 순수수학(그리고 물리학)의 핵심으로 남을 것이다. 때때로(그리고 자주 예상 밖으로) 수학자에 의해 발견된 대칭형태는 이론뿐만 아니라 실제 적용에 있어서 매우 유익할 것이다. 우리는 과거에 이러한 일들을 많이 경험해 왔다. 예를 들면, 적분기하가 X-선 단층촬영에서의 기본이 되었고, 소수계산이 완전코드를 탄생시켰으며, 경제적으로 효율적인 고접속의 네트워크을 제안하였다.

2. 수학의 분야가 넓어짐에 따라, 수학 자체가 논리적이고 수학적인 해석을 필요로 하게 되었다. 이것은 수리 논리학의 탄생을 이끌었고, 또한 이론 컴퓨터과학의 탄생을 이끌었다. 고전수학으로부터 아이디어를 얻은 컴퓨터 과학은 이론적으로 수정된 알고리즘의 실제 실행을 이끈 컴퓨터 하드웨어의 기술적인 진보 덕으로 현재 성년기를 맞이하였다.(fast 푸리에 변환과 fast multipole 알고리즘으로부터 공학자들에 의해 매일 사용되는 수치적인 방법에 대한 순수수학의 영향력을 알 수 있다.) 그리고 논리적으로 계산적인 생각은 양자 컴퓨터

* 본 글은 *Notices of AMS*(Vol. 45, No. 7, 1998, pp. 846-847)에 실린 논문 "Possible Trends in Mathematics in the Coming Decades"의 번역이다.

프로젝트, DNA에 기초한 분자 설계, 생물학에서의 형태 구조와 뇌의 동역학등 다른 분야와 접하고 있다. 수십 년 동안 컴퓨터과학은 더 깊은 수학적인 수준으로 발전할 것이라고 기대하고 있다. 이것은 인공지능과 로봇에서의 기술혁신과 같은 산업에서의 급속한 컴퓨터 적용에 의해 수반되어 질 것이다.

3. 실험과학(생물학, 화학, 지구물리학, 의학 등)으로부터 전형적으로 나타나는 어려움은 많은 양의 덜 구조화된 데이터를 다루어야만 하는 것에 기인한다. 이런 경우, 확률론과 수학적 통계처리방법으로 잘 해결될 수 있다. 그러나 자주 고전적인 확률이 적용될 수 없는 구조화된 데이터를 만나게 된다. 예를 들면, 광물학상의 형성, 또는 세포조직의 미세형상들은 고려해야 할 (미지의) 상관관계를 내포하고 있다는 것이다.(일반적으로 "보인다"라는 것은 "진짜 형상"이 아니라 빛, X-선, 초음파, 지진파와 같은 것들의 산란의 결과이다.) 더 이론적인 예는 삼투이론, random walk 이론(용매에서의 긴 분자사슬의 모델링) 등에서 나타난다. 완전한 대칭과 순수 카오스 사이를 연결하는 이러한 문제들이 수학의 새로운 분야로 떠오르고 있다. 이 분야의 발전을 위해서는, 컴퓨터를 사용하는 수학의 새로운 방법과 유용한 실험 데이터를 수학적인 이론으로 검증하기 위한 과학자들과의 긴밀한 협동뿐만 아니라 근본적인 수학의 이론들이 필요하다. (신호와 형상의 wavelet analysis, context-dependent inverse scattering technique, geometric scale analysis, 결정상태에서의 거대분자의 x-선 회절분석 등은 어떤 가능성들을 나타낸다.)

이론과 산업적 적용은 이러한 발전에 매우 큰 영향을 끼칠 것이다. 예를 들면, 효과적인 역 산란 알고리즘은 적어도 현재 X-선 분석만큼 효과적인 초음파를 의학 진단에서 사용하도록 하는 혁신을 가져왔다.

4. 컴퓨터의 능력이 이론적인 한계에 도달해 가고, 그리고 좀더 현실적인(그리고 좀더 복잡한) 문제를 취급함에 따라, 우리는 과학과 공학에서 수치를 성공적으로 수행하기 위한 방법을 나타낼 때 "차원의 저주" 에 직면하게 된다. (2)와 (3)에서 지적한 생각과 함께, 컴퓨터 프로그래밍에서와 마찬가지로 컴퓨터 구조에서도 더 높은 수준의 수학적 궤변이 필요하다. 여기서 성공이란 많은 양의 데이터를 보다 강력하게 계산할 수 있는 이론적인 수단을 주는 것일 것이다.

5. 아이디어를 전달하고 가르치는데 있어 더 좋은 방법을 제공해야하므로, 수학의 크기, 깊이, 구조적 복잡성과 같은 수학적 사상의 접근을 비 수학자에게 용이하게 하고, 수학적 발견을 한 영역에서 다른 영역으로 전달하는 새로운 접근 방법을 발견하는 것은 절대 필요한 것이다. 이러한 관점에서의 현재의 문제는, 수학자들은 과학과 공학에서 일어나는 일들에 대해 거의 무지하며, 실험과학자와 공학자들은 순수수학에서 진보된 이론을 거의 모른다는 것이다. 이와 같은 위험한 불균형은 수학자들이 더 많은 과학분야에 대한 교육을 받고, 미래 과학자와 공학자들은 핵심적인 수학을 더 많이 공부함으로서 극복될 수 있다. 근본적인 수

학적 기술과 생각(특히 지난 과거 수십 년 동안 발전되어온 것)을 뿌리내리기 위해서는 새로운 교과과정과 수학자들의 노력이 필요하다. 순수수학과 응용과학을 잘 결합시킬 수 있는 수학인을 양성해야한다. 이러한 아이디어의 상호 보완은 과학과 수학의 상호발전을 위해 필수적이다.

6. 수학적 연구의 재정적 지원이 확대되어야한다. 더 강력한 컴퓨터가 필요하고 과학과 산업의 협동을 촉진시켜야 하므로 수학의 동적 상태를 지원할 수 있는 더 많은 자원이 필요하다. 과학의 다른 분야보다는 덜 필요하지만, 우리의 생각을 일반화하고 적용하기 위해 많은 노력을 한다면, 수학의 경우가 회수/투자의 비율에 있어 가장 높을 것이다. 그러므로, 수학적 연구의 충분한 잠재성과 미래 산업 발전에 있어서의 수학의 중요한 역할을 사회가 인지하도록 만드는 것이 중요하다.