中島　誠　（なかしま　まこと／NAKASHIMA, Makoto）　准教授

研　究　室　理学部A館453号室　　(内線番号 2421)

電子メール　nakamako@math.nagoya-u.ac.jp

ウェブページ　https://www.math.nagoya-u.ac.jp/~nakamako/

研究テーマ

- 確率論
- 大規模相互作用系

研究テーマの概要

ここでいう確率論とは測度論的確率論のことを意味しており, 高校で学ぶような組み合わせ論的なものや学部2年生の確率・統計の講義で学ぶようなものとはイメージが異なります. 測度は学部3年生で学ぶ内容ですが, そこでは集合Sの可測な部分集合に対して“面積”(“体積”)を定義し, そこから関数の積分を定義しました. 確率論では標本空間Ωの可測な部分集合が事象に相当し, その“面積”に相当するものが確率になります. このように測度を用いて確率を定義することにより“無限回の試行”のようなものも数学的に記述することができ様々な解析ができるようになりました.

研究テーマに書いている大規模相互作用系という用語ですが主に物理の統計力学の話題になります. 私の研究対象の高分子模型からどういったものを考えるのか覗いてみましょう.

高分子はモノマー(例えば$-CH_2-$)と呼ばれる多数の分子が結合することで生成される分子のことです. このとき$C-C$結合では回転による自由度により, 結合の仕方はランダムになります. ここでモノマー間の排他作用は無視して問題を単純化してみましょう. $n+1$個のモノマーが鎖状に結合しているとし, 片方の端のモノマー0の位置を原点, モノマー0からi番目のモノマーの位置をS_iと表し, さらに変位$\{X_i := S_i - S_{i-1}\}_{i=1}^n$は独立同分布であると考えてみます. するとこれはランダムウォークと呼ばれる非常によく研究されている確率模型になります. さてここで高分子の形状について考えてみます. 高分子を巨視的な視点で観察するということはこのランダムウォークのスケール極限を考えているものと捉えられるのですが, $\{X_i\}_{i=0}^n$に適切な仮定を与えておくと$\{S_i\}_{i=0}^n$のスケール極限としてブラウン運動と呼ばれる確率模型が現れる(不変原理)ことが知られています. 上記の考察から理想的な溶媒中で作られて高分子はブラウン運動の軌跡とみなすことができることがわかりました.

さてもし溶媒の中に不純物が混ざっていた場合にはどうでしょうか. 不純物はモノマーと何らかの相互作用をするものだと考えることができます. この相互作用を記述する方法としてGibbs測度と呼ばれる新しい確率測度を導入するものがあります. これは元の$\{S_i\}_{i=0}^n$の確率測度に対して経路$\{S_i\}_{i=0}^n$毎に相互作用を表す重みを与えることで作られる確率測度になります. このGibbs測度を考えると, あるパラメータ(例えば不純物の濃度)を変化させることによって高分子模型の形状が大きく変化する(相転移)ことが知られています. このように無数の不純物とモノマーの相互作用(大規模相互作用)によって新しい現象が現れます.

他にも大規模相互作用系に分類される確率模型(物理模型)は存在し, 研究は多岐にわたっています. いずれも相互作用により新しい現象が現れる面白い分野です.

このような相互作用による相転移は自由エネルギーと呼ばれる物理量で特徴づけされることが多いのですが, 私の最近の研究ではこの自由エネルギーの挙動を調べることで物理模型の背景にある普遍的な構造を見つけることを行っています.

主要論文・著書

[1] C. Cosco, S. Nakajima, M. Nakashima: Law of large numbers and fluctuations in the sub-critical and L^2 regions for SHE and KPZ equation in dimension $d \geq 3$. Stochastic Process. Appl. **151** (2022), 127–173.
[2] M. Nakashima: Free energy of directed polymers in random environment in 1+1-dimension at high temperature. Electron. J. Probab. **24** (2019), No. 50.
[3] M. Nakashima: Branching random walks in random environment and super-Brownian motion in random environment. Ann. Inst. Henri Poincaré Probab. Stat. **51** (2015), no. 4, 1251–1289.

受賞歴

- 2014, 日本数学会賞建部賢弘賞奨励賞 「ランダム環境中の分枝ランダムウォークの研究」

経歴

2012 年	京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻数学系博士後期課程修了
2012 年	筑波大学数理物質系数学域助教
2015 年	名古屋大学大学院多元数理科学研究科准教授

学生へのメッセージ

確率論を学ぶにあたって「微分積分学」,「線形代数学」は予備知識です. さらに「ルベーグ積分論」は確率論を学習する上で必須なので習熟していることが望ましいです. 博士前期課程 (修士課程) に入学するまでには確率論の基礎知識 (測度論的確率論, σ-加法族, 独立性, 大数の法則, 中心極限定理, 条件付き期待値) は身につけておく必要があります. これらの知識は測度論的確率論の教科書 (例えば下の教科書) や講義などで復習するとよいでしょう.

[1] Williams「Probability with martingales」Cambridge Mathematical Textbooks,　1991.
[2] 舟木直久「確率論」　朝倉書店　2004.