PDF 版 第 5 回すうがく徒のつどい アブストラクト集

2024 年 3 月 15 日

時間	LR201 教室	LR 202 教室
	1 **日目**	
12:30-13:00	開会式	
1 日目 第 1 講演 13:00-14:30	N.Y 連立一次方程式の非負整数解の 個数を複素積分で計算する	すてふ K3 曲面の微分幾何
1 日目 第 2 講演 15:00-16:30	宇佐見公輔 🔰 既約ルート系の分類定理の証明	立腹層 アフィンスキームの幾何から見る可換環論
1 日目第 3 講演 17:00-18:00	ちひろ 2 つの封筒問題の整備と発展	佐久間雄大 無理数度の周辺知識と 関連した未解決問題
懇親会		
	2 **日目**	
2 日目 第 1 講演 10:00-11:30	よのは $(\infty, 1)$ 圏のモデルについて	yohhey モノイダル圏への関手を用いた 代数の構成について
昼休み 11:30-13:30		
2 日目 第 2 講演 13:30-14:30	梵天ゆとり（メダカカレッジ） バナッハ・タルスキの定理は どこで直観から外れるのか？	山中　正和 双曲幾何の世界の三角比の公式たち
2 日目 第 3 講演 15:00-16:00	でぃぐにゃん 等式 $x(yz) = (xy)(xz)$ を満たす代数系	ゆっきん 🔰 ベイズのはなし
2 日目 第 4 講演 16:30-17:30	サクラ 箙の表現から始める加群論	Amuta ニューラルネットワークの数理
17:30-18:00	閉会式	

🔰 は入門枠、 はオンライン講演です。

1 日目

1 日目 第 1 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

連立一次方程式の非負整数解の個数を複素積分で計算する

N.Y

Aと$\mathbf{b}$を$A \in \mathbb{Z}^{m \times n}, \mathbf{b} \in \mathbb{Z}^m$であって, $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | A\mathbf{x} = \mathbf{o}, \mathbf{x} \geq \mathbf{o}\} = \{\mathbf{o}\}$を満たすものであるとする.このとき,
$\Omega = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | A\mathbf{x} = \mathbf{b}, \mathbf{x} \geq \mathbf{o}\}$ は$\mathbb{R}^n$のコンパクト集合になるため,連立一次方程式$A\mathbf{x} = \mathbf{b}$の非負整数解は有限個になる.
今回の発表ではこの非負整数解の個数が
$\frac{1}{(2\pi i)^m} \int_{|x_1|=\gamma_1} \cdots \int_{|x_m|=\gamma_m} \frac{z_1^{b_1-1} \cdots z_m^{b_m-1}}{\prod_{j=1}^n (1-z_1^{-a_{1j}} \cdots z_m^{-a_{mj}})}$ (ただし$\gamma_i > 0$ for all i, $\gamma_1^{a_{1j}} \cdots \gamma_m^{a_{mj}} > 1$ for all j)
と表せるということを話す.

また, 以下の話題についても時間と労力の許す限り話したい.

・上記結果を高次ディオファントス方程式に応用するにはどうすればよいか.
・連立一次方程式の整数解の存在範囲を評価することはできるか.

参考

Lasserre, Zeron, 2001 "On counting integral points in a convex rational polytope", Mathematics of Operations Research Vol. 28, No. 4 (Nov., 2003), pp. 853-870
Lasserre, 2004 "A discrete Farkas lema",Discrete Optimization Volume 1, Issue 1, 15 June 2004, Pages 67-75
I. Borosh and L. B. Treybig, 1992 "A Sharp Bound on Positive Solutions of Linear Diophantine Equations " SIAM J. MATRIX ANAL. APPL.Vol. 13, No. 2, pp. 454-458

K3 曲面の微分幾何

すてふ　@ Sgt_stephen3rd

「複素多様体上に曲率一定の計量が存在するのはいつか？」という問題は古くはカラビに端を発し、ヤウによる存在定理を経て、近年は Yau–Tian–Donaldson 予想と呼ばれる大予想が提出され、現在でも複素微分幾何において大変盛んに研究されている課題の一つです。一方で、複素多様体上の計量の理論と代数幾何学の間の不思議な関係性がここ十数年の間に色々と分かってきました。特に、標準特異点と呼ばれる代数幾何的によい性質を持った特異点が、計量の理論の観点からもよい特異点であることが分かって来ています。

本講演では代数多様体上の標準計量の理論を中心に様々な幾何学が交叉する様子を、K3 曲面の場合を例に紹介して、代数幾何学者たち（というか私と私の指導教官）の壮大な夢の一端を感じていただければと思います。

1 日目 第 2 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

既約ルート系の分類定理の証明

宇佐見公輔

第 5 回 すうがく徒のつどい

ルート系

ルート系（root system）は、リー代数（Lie algebra）を分類する研究の中であらわれました。
複素数体上の有限次元単純リー代数は、ルート分解という直和分解ができます。そこに出てくるルート（root）というベクトルの集合は、ある一定の性質を持っています。そこで、この性質を定義として採用し、抽象的なルート系という概念を導入します。
そして、ルート系の分類をすることでリー代数の分類ができます。既約ルート系（それ以上分解できないルート系）が、単純リー代数と対応しています。

ディンキン図形

ルート系は一般には高次元の実ベクトル空間の部分集合であるため、直接的な図解はしづらいです。しかし、ルート系の情報を視覚的に表現するための道具として、ディンキン図形（Dynkin diagram）というグラフがあります。
既約ルート系の分類は、連結なディンキン図形を分類することで行えます。

分類定理

複素数体上の有限次元単純リー代数の分類は、既約ルート系を通じて、連結ディンキン図形の分類に帰着します。連結ディンキン図形は、A 型、B 型、C 型、D 型、E 型、F 型、G 型の 7 種類しかないことが知られています。この分類の結果はとても興味深いもので、リー代数の教科書には必ずといっていいほど載っています。
この分類定理の証明については、教科書に書いてはありますがあまりきちんと学ばない場合も多いかもしれません。しかし実のところ、短い証明ではないものの、それほど難しい知識を必要とせずに証明できます。今回は、その証明を丁寧に追ってみたいと思います。

アフィンスキームの幾何から見る可換環論

立腹層

2024 年 3 月

「アフィンスキーム」とは，（単位的）可換環に付随して生じる，あるいは更に言えば可換環と「等価」な幾何学的対象（非常に大雑把に言うと，ある種の位相空間）のことであり，代数幾何学や数論幾何学で重要な「スキーム」の材料となるものでもある．スキームの理論ではやや高度な可換環論も用いられるため，先に可換環論をある程度勉強してから，そのあとでアフィンスキームを初めて学ぶ人も多いようである（知らないけどたぶん）．

しかし，アフィンスキームは可換環と「等価」でありながらも，可換環の定義を見ただけではわからない隠された構造を見事に暴き出している概念であるため，「（アフィン）スキーム論を基礎として可換環論を理解する」という（従来的な「主従関係」とは反対の）立場も十分に可能であり，妥当である．そこで本講演では，（アフィン）スキームに関する知識は一切仮定せずに，その幾何学の入門的概説を与え，その上，その観点から可換環論の理解を整理できることを，実際の例によって観察したい．講演時間の都合上，どこまで話せるかわからないが，現時点で念頭にある例は，中国剰余定理，Artin 環構造定理，Noether 局所環の次元論，Cohen-Macaulay 環の定義，等である．

前提知識としては，準同型定理，剰余環や局所化，それらによるイデアルの対応定理，極大イデアル，素イデアル，局所環，Noether 環，等の入門的な可換環論の理解を仮定する．また，「開集合」「閉集合」といった単語の意味が分かる程度の，ごく初歩的な位相空間の知識も仮定する．しかし，以上のような知識が十分でない方にも，「可換環論を幾何学的に理解する」とはどういうことなのか，なるべくその考え方の雰囲気が伝わるように心がけて話すつもりである．

1 日目 第 3 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

2 つの封筒問題の整備と発展

ちひろ (@chihiro314)

確率に関するパラドックスは、誕生日のパラドックス，サンクトペテルブルクのパラドックス，モンティ・ホール問題などたくさん知られている。ここで紹介する 2 つの封筒問題は期待値に関するパラドックスであり、完全には解決していないとされてしまっている問題である。

2 つの封筒問題

お金の入った 2 つの封筒があり、片方にはもう片方の 2 倍の金額が入っているが、どちらにいくら入っているかはわからない。無作為に封筒を 1 つ選んで中を確認すると 1 万円が入っていたとき、どちらの封筒を受け取ることが得であるか？

無作為に選んで確認した封筒が低額，高額である確率はどちらも $\frac{1}{2}$ なので、もう片方の封筒の金額の期待値は 12500 円となり、交換するほうが得であるという考察が得られる。

しかし、この問題の考察は次のように続く。確認した封筒の金額が偶数であれば、交換すると金額の期待値が同様に $\frac{5}{4}$ 倍になるので得である。確認した封筒の金額が奇数であれば、その封筒は必ず低額なので交換する方が得である。確認した金額に依らずもう片方の封筒が得であるということになり、対称的だったはずの 2 つの封筒に差が生まれてしまうのである。

このパラドックスは、封筒の金額を決める確率分布が設定されていないことを解決の糸口にされることが多く、都合のいい確率分布の設定で矛盾を回避されて終わってしまう。しかし、この問題の根幹はそこではなく、次のように整備することで再び提起できるのである。

整備された 2 つの封筒問題

コインを裏が出るまで投げ続けて、それまでに表が出た回数を n とする。2 つの封筒にそれぞれ 3^n 円と 3^{n+1} 円が入れられるが、n の値やどちらにいくら入っているかはわからない。無作為に封筒を 1 つ選んで中を確認したとき、どちらの封筒を受け取ることが得であるか？

最後に、2 つの封筒問題の発展として、期待値による損得勘定が不可能なゲームを紹介する。

得かつ損なゲーム

はじめにコインを裏が出るまで投げ続けて、それまでに表が出た回数を n とする。最後にもう 1 度コインを投げて、表が出たら $5^n + 1$ 円獲得し，裏が出たら 5^n 円支払う。このゲームに参加することは得であるか損であるか？

このゲームは次のような相反する考察を持つパラドックスである。まず、表がはじめに n 回出た場合を考えると賞金の期待値が常に $\frac{1}{2}$ 円なので、このゲームは得であるといえる。一方で、表が全部で 0 回出た場合は 1 円の支払いなので損であり、表が全部で $m(> 0)$ 回出た場合は賞金の期待値が $-5^{m-1} + \frac{2}{3}$ 円なので、このゲームは損であるともいえるのである。

無理数度の周辺知識と関連する未解決問題

佐久間雄大

【背景】

無理数度と呼ばれる考え方があり，以下のように定義されている．

> 定義(無理数度)
>
> α を実数とし，定数 $C > 0$ が存在して，全ての有理数 $\frac{p}{q}$ $(q > 0)$ に対して
>
> $$\left|\alpha - \frac{p}{q}\right| \geq \frac{C}{q^{\mu}}$$
>
> が成り立つとき，μ のことを α の無理数度と呼ぶ．特に，μ の下限を最良無理数度と呼ぶ．

この無理数度の値に関しては以下のように分かっている．

$$\mu = \begin{cases} 1 & (\text{有理数}) \\ \geq 2 & (\text{無理数}) \\ \infty & (\text{リウヴィル数}) \end{cases}$$

具体的な定数に関しては，円周率 π の最良無理数度が現在約 2 に近い値であることが分かっており，その下限を求めることが期待されている．

【講演内容】

講演では無理数度を定義し，リウヴィルの定理など周辺知識を紹介する．最後には，無理数度と最近まで未解決問題であった Flint Hills 級数の収束性の関係性を見ることで，今後の研究の方針などを提案する．

【必要な予備知識】

本講演の内容を理解してもらうには高校数学の知識があれば十分である．しかし，最小多項式など代数学でよく使われる用語の定義を知っていると理解度が高まると考える．もちろん，高校数学の範囲を超える内容については講演中に説明を行うので，知らなくとも大丈夫である．

2 日目

2 日目 第 1 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

$(\infty, 1)$ 圏のホモトピー論

よの

概要

$(\infty, 1)$ 圏 ($(\infty, 1)$-category) は, 任意の $n > 1$ に対して n 射が可逆であるような弱 ∞ 圏 (weak ∞-category) である. この $(\infty, 1)$ 圏の情報をうまく組み込む方法 (数学的対象) が多く考えられてきた. 実際, $(\infty, 1)$ 圏のモデルとして位相的圏 (topological category), 完備 Segal 空間 (complete Segal space), 擬圏 (quasi-category), 相対圏 (relative category) などがある.

本講演では, 上述の数学的対象が $(\infty, 1)$ 圏のモデルとして適切であり, 等価な定式化であることを説明する.

参考文献

[1] J. Bergner, .'The Homotopy Theory of $(\infty, 1)$-Categories.'

[2] C. Barwick and D. M. Kan, 'Relative categories : Another model for the homotopy theory of homotopy theories.'

[3] A. Joyal and M. Tierney, 'Quasi-categories vs Segal spaces.'

[4] J. Lurie, 'Higher Topos Theory.'

モノイダル圏への関手を用いた代数の構成について

yohhey

一般に圏 $\mathcal{C}$ からモノイダル圏 $\mathcal{D}$ への関手 $F\colon \mathcal{C} \to \mathcal{D}$ で，良い性質を持つものから，$\mathcal{D}$ における代数 A_F を取り出すことができることが知られている．特に $\mathcal{C}$ がモノイダル圏，$\mathcal{D}$ がブレイドモノイダル圏，F がモノイダル関手で良い性質を持つ場合は，A_F は $\mathcal{D}$ における双代数となり，更に $\mathcal{C}$ がリジッドモノイダル圏であれば，A_F は $\mathcal{D}$ におけるホップ代数となる．他にも $\mathcal{D}$ の性質 (ブレイド構造，リボン構造など) に対して，A_F は対応する構造 (準三角構造，リボン構造など) を持つ．このような圏と関手の組と代数の間の対応関係を淡中・クライン双対という．本講演では，まず関手からの (余) 代数の構成の一般論を説明する．そして，具体例として有限次元ホップ代数 H を用いて構成される二つの圏とその忘却関手から，二つの代数を構成する．一つ目の例では，ホップ加群の圏 ${}_H\mathcal{M}^H$ とベクトル空間の圏 $\mathbf{Vect}_k$ への忘却関手から，ハイゼンベルグダブル $H(H)$ を構成する．二つ目の例では，左 H 加群の圏 ${}_H\mathcal{M}$ の右ドリンフェルト中心 $\mathcal{Z}_r({}_H\mathcal{M})$ と $\mathbf{Vect}_k$ への忘却関手から，ドリンフェルトダブル $D(H^*)$ を構成する．また時間が許せば，イエッター・ドリンフェルト加群の圏 ${}_H\mathcal{YD}^H$ の ${}_H\mathcal{M}^H$ への右作用から，$H(H)$ の右 $D(H^*)$-comodule algebra 構造が得られることを紹介する．

参考文献

[BT20] D. Bulacu and B. Torrecillas, *Quasi-quantum groups obtained from the Tannaka-Krein reconstruction theorem*, Contemp. Math, **751**, 61-97, (2020).

[EGNO15] P. Etingof, S. Gelaki, D. Nikshych, and V. Ostrik, *Tensor categories*, Mathematical Surveys and Monographs, vol. 205, American Mathematical Society, (2015).

[Lau15] R. Laugwitz, *Braided Drinfeld and Heisenberg doubles*, Journal of Pure and Applied Algebra, **219**(10), 4541-4596, (2015).

[Lu94] J. H. Lu, *On the Drinfeld double and the Heisenberg double of a Hopf algebra*, Duke Math, **74**(3), 763-776, (1994).

[Lyu21] A. Lyubinin, *Tannaka Duality, Coclosed Categories and Reconstruction for Nonarchimedean Bialgebras*, Appl Categor Struct, **29**, 547–571, (2021).

[Maj95] S. Majid, *Foundations of Quantum Group Theory*, Cambridge University Press, (1995)

2 日目 第 2 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

演題：「バナッハ・タルスキの定理はどこで直観から外れるのか？」

梵天ゆとり（メダカカレッジ）

アブストラクト：
バナッハ・タルスキの定理は、直観に反する結果をもたらすことで有名な数学の定理です。しかし、その証明のテクニカルな詳細を追った経験のない人も多いことでしょう。このような定理は、単に結果の不思議さを鑑賞するだけでなく、きちんと証明を追うことによって、「（自明な事柄から始まって）いったいどの時点で直観から外れるのか？」を追い詰める、という楽しみ方ができます。今回の発表では、バナッハ・タルスキの定理の証明中に与えられている具体的な構成法を、技術的なエッセンスを損なうことなく初心者向けに解説し、この疑問に迫ってみます。

理解に際しては群論の知識があれば有利ですが、解説においては群論の概念を表立って用いることはせず、最小限の知識で定理の結論に到達することを試みます。

なお、本講演は 2023 年 7 月 7 日に「SOU 数学ラボ」にて開催された「フライデー数学ナイト#10」において発表したものに改良を加えたものとなります。

双曲幾何の世界の三角比の公式たち

山中　正和

双曲幾何とはユークリッド幾何学における平行線公準を否定した幾何学の１つです。双曲幾何においても、双曲線関数を用いることによって、ユークリッド幾何の正弦定理や余弦定理に対応する公式が存在します。さらに、双曲幾何では他にさまざまな公式が得られます。例えば、すべての角が直角であるような６角形 (直角双曲６角形) における公式などです。

講演では双曲幾何を実現するモデルを３つ紹介します。一つ目は３次元空間に特殊な内積を入れたミンコフスキー空間内の双曲平面モデル、二つ目は単位円の内部に特殊な計量を入れたポアンカレ円板モデル、三つ目は２次元空間の y 座標が正の部分に特殊な内積を入れた上半空間モデルです。

講演は、双曲幾何における公式を紹介し、主に双曲平面モデルを用いて証明することがメインです。また、直角双曲六角形の公式を用いて、直角双曲六角形は３つの辺の長さを与えると１つに決定するという面白い性質が示されることも紹介する予定です。時間があれば複素数平面上で定義される複比 (非調和比) から双曲幾何に距離を導入する手法についても触れます。

前提知識は高校の数学 III 程度です。簡単な線形代数や外積に関する知識もあれば理解しやすいと思います。大学数学に触れたことがなくても概ね理解できる内容です。お気軽に参加していただけると幸いです。

参考文献

[1] 深谷賢治著　双曲幾何　岩波書店　2004 年
[2] 谷口雅彦・奥村善英共著　双曲幾何学への招待　培風館　1996 年
[3] 小林昭七著　ユークリッド幾何から現代幾何へ　日本評論社　1990 年
[4] 河野俊丈著　曲面の幾何構造とモジュライ　日本評論社　1997 年
[5] 阿原一志著　作図で身につく双曲幾何学　共立出版　2016 年

2 日目 第 3 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

等式 $x(yz) = (xy)(xz)$ を満たす代数系

でぃぐにゃん
2024 年 2 月 12 日 作成 / 2024 年 3 月 13 日 更新

集合とその上の 2 項演算の組 $(S, \cdot)$ は次の公理を満たすとき **LD システム**と言う：

$$\text{任意の } x, y, z \in S \text{ に対して } x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot (x \cdot z).$$

ここでこの演算には結合法則を課さない．

奇妙な代数系に見えるかもしれないが，実はこれは組み紐群の分野，集合論の分野それぞれで自然に登場するものである．

LD システムの「語の問題」，すなわち LD システムの言語 $\{\cdot\}$ の項 $t(v_1, \ldots, v_n), t'(v_1, \ldots, v_n)$ が与えられたとき，等式 $t(v_1, \ldots, v_n) = t'(v_1, \ldots, v_n)$ が LD システムの公理系から導出できるを判定することが計算可能にできるかという問いを考えてみよう．実は，これが当初 Laver により，集合論的な見地から ZFC + I3 というかなり超越的な集合論の公理体系のもとで示されていた．後に Dehornoy が組み紐群の観点から ZFC での証明を与えた．

この講演では，LD システムが組み紐群，集合論の両方で自然に現れることを見て，組み紐群の話を使って，語の問題の肯定的解決の証明を追おうと思う．最後にこれらの話に関連して，Laver 表という対象についても触れる．Laver 表にはかなり奇妙な未解決問題が残っている．

参考文献

[Deh12] Patrick Dehornoy. *Braids and Self-Distributivity*. Progress in Mathematics. Birkhäuser Basel, 2012.

[Deh10] Patrick Dehornoy. “Elementary embeddings and algebra”. *Handbook of Set Theory* (2010), pp. 737–774.

第 5 回すうがく徒のつどい
『ベイズのはなし』アブストラクト

ゆっきん（@yukkin_eng）

1　概要

本講座ではベイズ統計学を初心者向けに解説します.
ベイズ統計学とは, 統計的推論をベイズの定理に基づいて行う手法を指します.

ベイズの定理

A の事前確率 $P(A)$ と観測された事象 B に基づき, A の事後確率 $P(A|B)$ を計算するための式

$$P(A|B) = \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(B)}$$

2　内容（予定）

- 条件付き確率とベイズの定理
  - 条件付き確率の復習
  - ベイズの定理について
  - ベイズの定理の例
- ベイズ推論の考え方
  - 確率分布の基本
  - ベイズ推論について
  - 一般的な統計学との比較
- 機械学習への応用
  - 機械学習の基本
  - ベイズ推論を用いた機械学習

3　予備知識

高校数学を予備知識として仮定します. ベイズの定理, ベイズ推論, 機械学習などの知識は仮定しません. 入門枠講座ですので, どなたでも聞ける内容として説明します.

2 日目 第 4 講演

アブストラクトは次ページにあります。

スケジュール表へ戻る。

箙の表現から始める加群論

サクラマス

2024 年 3 月

前回のすうがく徒のつどい@オンラインでは，表現と呼ばれるもののうち，群の表現や環の表現などの代数的に取り扱えるものについて，これが函手として捉えられることを紹介しました．このアイデアをベースにしつつ，今回は箙（quiver）と呼ばれる数学的対象の表現を考えます．ここで箙は（多重辺やループを許す）有向グラフのことですが，この「表現」とはどのように定義され，これを調べることはどのような意味があるでしょうか．本講演は，このような最も基本的な部分を説明し，多少なりとも箙の表現論を身近に感じられるようになることを目標とします．

そのため，まずは箙の表現の定義を与え，具体例を交えつつ説明していきます．講演の中盤に差し掛かる頃に，箙に有限性を課す場合に「箙の K-線型表現を考えること」と「特殊な有限次元 K-多元環の K-表現を考えること」とが等価であることを見ます．これを皮切りに箙と多元環との間の関係が明らかになっていき，この考え方を推し進めることで，任意の有限次元 K-多元環が箙とその関係式によって表示ができることが確かめられます．

この「多元環の箙と関係式による表示」は大変便利で，この表示を用いることで有限次元 K-多元環のよい K-表現（単純表現，射影表現，入射表現，直既約表現などなど）が具体的に記述できることが分かります．本講演の後半では，時間の許す限り具体的に計算する方法を紹介し，多元環の表現や箙の表現の雰囲気を伝えることを目指します．

以上が現時点での講演の予定です．但し現時点では詳細が未定のため，当日話される内容と一致しない可能性があることをご理解ください．また，本講演の前半では，線形空間，環，圏の定義とその簡単な例を知っていることを仮定します．ここまでで基本的なモチベーションは大雑把に伝わると思うので，学部 1，2 年程度の知識があれば十分です．また後半に進むにつれて，環上の加群に関する基本的な性質に馴染みがあるとより聞きやすいような話題が増えていきますが，基本的には環論の言葉を知らずとも（少なくとも論理的整合性が）分かるように進めるつもりですので，そういう話もあるのか，といった感じで，気軽に聞いていただければと思っています．

ニューラルネットワークの数理

Amuta (𝕏:@Amuta151)

Abstract

ニューラルネットワークは極めて広範な応用を持つ重要な機械学習手法である．その応用の重要性は言うまでもないが，理論的にも非常に興味深い数理が関係していることが解明され始めている．例えば [Mei *et al.* 2018] では平均場近似の手法を用いて二層ニューラルネットワークの学習を偏微分方程式を用いて解析できることが示された．また [Raginsky *et al.* 2017] ではランジュバン動力学という確率微分方程式を用いた手法が用いられる．これらの話題に関連し発表者が近頃興味を持っている事柄を簡単に紹介する．

参考文献

[Mei *et al.* 2018] Mei, Song, Andrea Montanari, and Phan-Minh Nguyen. "A mean field view of the landscape of two-layer neural networks." Proceedings of the National Academy of Sciences 115.33 (2018): E7665-E7671.

[Raginsky *et al.* 2017] Raginsky, Maxim, Alexander Rakhlin, and Matus Telgarsky. "Non-convex learning via stochastic gradient langevin dynamics: a nonasymptotic analysis." Conference on Learning Theory. PMLR, 2017.