

Fourier-Mukai 変換と ADHM 構成

橋本 義武

2003/03/13

A 文献について

これは、『非可換幾何学秩父研究集会』(2003/03/09Sun–11Tue)における講演のために用意した文献集を、聴いてくださった方々からのご教示を受けてさらに拡充したものです。講演する機会をあたえてくださった森吉仁志さんをはじめ、聴いてくださってさまざまなご教示、ご質問をしてくださった方々に感謝します。

以下の文献のうちの多くは、話した内容についてというよりむしろ話せなかったことに関係しています。また、これらはわたしにとって抽象的で難しく、ちゃんとは読んでいません。むしろ、これから自分が勉強するためのリストです。題材が初等的で読めそうな文献は太字にしました。

A.1 原論文

Fourier-Mukai 変換の原論文は、

[Muk81] S. Mukai, *Duality between $D(X)$ and $D(\hat{X})$ with its application to Picard sheaves*, Nagoya Math. J. **81**(1981), 153–175

ADHM 構成の原論文は、

[ADHM] M. F. Atiyah, N. J. Hitchin, V. G. Drinfeld and Yu. I. Manin, *Construction of instantons*, Phys. Lett. **65A**(1978), 185–187

Fourier-Mukai 変換、ADHM 構成と直接つながるわけではないが、この 20 年の数学・物理学の導きの糸であった、

[Wit] E. Witten, *Supersymmetry and Morse theory*, J. Diff. Geom. **17**(1982), 661–692

[Esq] A. Grothendieck, *Esquisse d'un programme*, 1984, in “Geometric Galois Actions”, vol. 1, L. Schneps and P. Lochak (eds.), London Math. Soc. Lect. Notes Ser. 242, Cambridge, 1997

を、そしてこれからの 20 年を夢見つつ、

[Dér] A. Grothendieck, *Les dérivateurs*, 1990,
<http://www.math.jussieu.fr/~maltsin/groth/Derivateurs.html>

をここにあげておきたい。

A.2 講演について

今回の講演は、当初

[DK] S. K. Donaldson and P. Kronheimer, *Geometry of Four-Manifolds*, Oxford, 1988

3. The Fourier transform and ADHM construction

[OSS] C. Okonek, M. Schneider and H. Spindler, *Vector Bundles on Complex Projective Spaces*,

Progr. Math. 3, Birkhäuser, 1980

II-3. Monads

に沿っておこなうつもりだった。ほんとうは、

[P03?] A. Polishchuk, *Abelian Varieties, Theta Functions and the Fourier Transform*,

Cambridge Tracts in Math. 153, Cambridge, to appear

が出ていればよかったのだが。この人は Fourier-Mukai 変換についての仕事をいろいろやっている。

A.3 ホモロジー代数

層係数コホモロジーについては、

[I] B. Iversen, *Cohomology of Sheaves*, Universitext, Springer, 1986

が、主題を Poincaré-Verdier duality に絞っていてすっきりしている。邦訳あり。しかし、この本に限ったことではないが、層が岡潔の思索の中から生まれ、小平邦彦の手によって育てられたという歴史は見えてこない。

層の現代的理論は、

[Tôhoku] A. Grothendieck, *Sur quelques points d'algèbre homologique*,

Tôhoku Math. J. **9**(1957), 119–221

によってもたらされた。“Tôhoku” といったらこの論文をさす。深谷さんがかつて、この題の中の“homologique”を“homotopique”に替えた論文を東北数学雑誌に投稿するのが夢、とっておられたのを思い出す。

[F94] 深谷賢治, 位相的場の理論とモース理論, 数学 **46**(1994), 289–307, 岩波。

はそのような気概にみちあふれた文章だ。

導来圏については、Grothendieck の講義録である

[RD] R. Hartshorne, *Residues and Duality*, Lect. Notes Math. 20, Springer, 1966

が古典。[Muk81] もこれを引用している。普及に貢献したのは

[Ver4.5] J.-L. Verdier, *Catégories dérivées, état 0*, in SGA4 $\frac{1}{2}$, 262–308, Lect. Notes Math. 569,

Springer, 1977

だろうが、Verdier の死後、Grothendieck の指導による学位論文

[Ver] J.-L. Verdier, *Des catégories dérivées des catégories abéliennes*, (1963),

Astérisque 239, Soc. Math. France, 1996

も出版された．最近のものでは，短くて大雑把なお話なら，

[T00a] R. P. Thomas, *Derived categories for the working mathematician*, in [VY]
math.AG/0001045

本格的なものなら，

[Ne] A. Neeman, *Triangulated Categories*, Ann. Math. Study 148, Princeton, 2001

導来圏を含むホモロジー代数の入門書としては，

[We] C. A. Weibel, *An Introduction to Homological Algebra*,
Cambridge Stud. Adv. Math. 38, Cambridge, 1994

がバランスがとれている．より本格的なのは，

[GM94] S. I. Gelfand and Yu. I. Manin, *Homological Algebra*, Springer, 1994

[GM96] S. I. Gelfand and Yu. I. Manin, *Methods of Homological Algebra*, Springer, 1996

A.4 半古典近似と穏和トポロジー

脱量子化と実代数幾何の関連については，

[V00] O. Viro, *Dequantization of real algebraic geometry on logarithmic paper*, math.AG/0005163
<http://www.math.uu.se/~oleg/>

話の出所は，

[Mas] V. P. Maslov, *On a new superposition principle for optimization problems*,
Russian Math. Survey **42**(1987), 43–52

[LM] G. L. Litvinov and V. P. Maslov, *The correspondence principle for Idempotent Calculus and some computer applications*, in “Idempotency”, J. Gunawardena (eds.), Cambridge, 1998,
420–443, math.GM/0101021

立科では，

[KN] G. Kempf and L. Ness, **The length of vectors in representation spaces**,
Lect. Notes Math. 732(1978), 233–243

を紹介したついでに少し触れるつもりだった．他の文献としては，

[BFZ] A. Berenstein, S. Fomin and A. Zelevinsky, *Parametrization of canonical bases and totally positive matrices*, Adv. Math. **122**(1996), 49–149.

[Ki] A. N. Kirillov, *Introduction to tropical combinatorics*, in “Physics and Combinatorics 2000”,
82–150, World Scientific, 2001

[NY] M. Noumi and Y. Yamada, *Tropical Robinson-Schensted-Knuth correspondence and birational Weyl group actions*, math-ph/0203030

アメーバについては，

[V02] O. Viro, *What is an amoeba?*, Notices **49-8**(Sept. 2002), 916–917

[GKZ] I. M. Gelfand, M. M. Kapranov and A. V. Zelevinsky, *Discriminants, Resultants, and Multidimensional Determinants*, Birkhäuser, 1994

[Mi00] G. Mikhalkin, *Real algebraic curves, the moment map and amoebas*, Ann. of Math. **151**(2000), 309–326, math.AG/0010018

[Mi01] G. Mikhalkin, *Amoebas of algebraic varieties* math.AG/0108225

次のものも予告されている .

[MV] G. Mikhalkin and O. Viro, *Geometry of Amoebas*, in preparation

他に関連するものとしては ,

[Kh] A. G. Khovanskii *Fewnomials*, Transl. Math. Monographs 88, AMS, 1991

穏和トポロジー [Esq] に関する近年の大きな breakthrough は ,

[Wil] A. Wilkie, *Model completeness results for expansions of the ordered field of real numbers by restricted Pfaffian functions and the exponential function*, J. AMS, **9**(1996), 1051–1094

その解説やその後の展開については ,

[Mar] D. Marker, *Model theory and exponentiation*, Notices **43-7**(July 1996), 753–759

[vD] L. van den Dries and C. Miller, *Geometric categories and o-minimal structures*, Duke J. Math. **84**(1996), 497–540

[BiMi] E. Bierstone and P. D. Milman, *Subanalytic Geometry*, in “Model Theory, Algebra, and Geometry”, 151–172, MSRI Publ. 39(2000)
subanalytic set の定義は広中平祐による .

穏和トポロジーと高次圏の関係については ,

[Le] T. Leinster, *Topology and higher-dimensional category theory: rough idea*, math.CT/0106240

rig については ,

[Bl] A. Blass, *Seven trees in one* J. Pure Appl. Alg. 103(1995), 1–21

[FL02a] M. Fiore and T. Leinster, *An objective representation of the Gaussian integers*, math.RA/0211454

[FL02b] M. Fiore and T. Leinster, *Objects of categories as complex numbers*, math.CT/0212377

A.5 Fourier-Sato 変換

Fourier-Sato 変換 (幾何学的 Fourier 変換) は, microfunction を定義するため, 接・余接束の場合に

[SKK] M. Sato, T. Kawai and M. Kashiwara, *Microfunctions and Pseudo-differential Equations*, in Lect. Notes Math. 287, 264–529, Springer, 1973

において導入された. 一般のベクトル束の場合を書いたのが

[BMV] J. L. Brylinski, B. Malgrange and J.-L. Verdier, *Transformée de Fourier géométrique I*, C. R. Acad. Sci. **297**(1983), 55–58

現代的に整理された解説は,

[KSch] M. Kashiwara and P. Schapira, *Sheaves on Manifolds*, Grundlehren der Math. 292, Springer, 1990

Witten の Morse 理論 [Wit] に触発され, Fourier-Sato 変換を用いて Weil 予想の Deligne による証明の核心部分 (poids のヨガ) にあたらしい光をあてたのが,

[La87] G. Laumon, *Transformation de Fourier, constantes d'équations fonctionnelles et conjecture de Weil*, Publ. Math. IHES **65**(1987), 131–210

その解説は

[KR] R. Kiehl and R. Weissauer, *Weil Conjectures, Perverse Sheaves and l -adic Fourier Transform*, Ergebnisse 3. Folge 42, Springer, 2001

A.6 Abel 多様体

Abel 多様体の教科書は数多あるが, 代表的なのは

[Mum] D. Mumford, *Abelian Varieties*, Oxford, 1970

複素トーラスがくわしいのは,

[LB] H. Lange and Ch. Birkenhake, **Complex Abelian Varieties**, Grundlehren 302, Springer, 1992

テータ函数については,

[Tata] D. Mumford, **Tata Lectures on Theta, I, II, III**, Progr. Math. 28, 43, 97, Birkhäuser, 1983, 1984, 1991

I は初等的. 後半にある代数函数論の手っ取り早い解説もよい. II は KdV hierarchy を超楕円曲線の Jacobian 上の flow と見る話で, 月並みな表現だがとてもおもしろい. III は Heisenberg 群の表現論による整理.

しかし, 今や Fourier-Mukai 変換やミラー対称性を見据えたテータの新しい入門書が書かれるべき時が来ているように思われる.

Deligne-Umemura の方法については,

[De] P. Deligne, *La théorie de Kodaira*, Exposé 5 in Séminaire Géométrie Algébrique, Orsay, 1967/1968

[U] H. Umemura, *Some results in the theory of vector bundles*, Nagoya Math. J. **52**(1973), 97–128

A.7 Fourier-Mukai 変換の応用と一般化

Fourier-Mukai 変換の応用や拡張等については,

- [Muk84] S. Mukai, *Symplectic structure of the moduli space of sheaves on an abelian or K3 surface*, Invent. math. **77**(1984), 110–116
- [Muk85] S. Mukai, *Fourier functor and its application to the moduli of bundles on an abelian variety*, in “Algebraic Geometry, Sendai, 1985”, Adv. Stud. Pure Math. 10, 1987, 515–550
- [Muk94] S. Mukai, *Abelian variety and spin representation*, preprint, 1998
(「Hodge 理論と代数幾何」報告集, 110–135, 1994)
- [P95a] A. Polishchuk, *A remark on the Fourier-Mukai transform*, Math. Res. Lett. **2**(1995), 193–202,
- [P95b] A. Polishchuk, *Symplectic biextensions and a generalization of the Fourier-Mukai transform*, Math. Res. Lett. **3**(1996), 813–828, alg-geom/9511018
- [O96] D. Orlov, *Equivalences of derived categories and K3 surfaces*, alg-geom/9606006
- [O97] D. Orlov, *On equivalences of derived categories of coherent sheaves on abelian varieties*, alg-geom/972017
- [BBH] C. Bartocci, U. Bruzzo and D. Hernández-Ruipérez, *A Fourier-Mukai transform for stable bundles on K3 surfaces*, J. reine angew. math. **486**(1997), 1–16, alg-geom/9405006
- [Mac96] A. Maciocia, *Generalized Fourier-Mukai transforms*, J. reine angew. math. **480**(1996), 197–211, alg-geom/9705001
- [Br97] T. Bridgeland, *Fourier-Mukai transforms for elliptic surfaces*, J. reine angew. math. **498**(1998), 115–133, alg-geom/9705002
- [Br98] T. Bridgeland, *Equivalences of triangulated categories and Fourier-Mukai transforms*, Bull. London Math. **31**(1999), 25–34, math.AG/9809114
- [BrMa98] T. Bridgeland and A. Maciocia, *Fourier-Mukai transforms for quotient varieties*, math.AG/9811101
- [BrMa99] T. Bridgeland and A. Maciocia, *Fourier-Mukai transforms for K3 and elliptic fibrations*, math.AG/9908022
- [Br00] T. Bridgeland, *Flops and derived categories*, math.AG/0009053

位相テンソル積と核型空間については,

- [Produits] A. Grothendieck, *Produits Tensoriels Topologiques et Espaces Nucléaires*, Memoirs AMS 16, 1955

ミラー対称性と Fourier-Mukai 変換の関係については,

- [F98] K. Fukaya, *Mirror symmetry of abelian varieties and multi-theta functions*, preprint, 1998

- [**BBHM**] C. Bartocci, U. Bruzzo and D. Hernández-Ruipérez and J. M. Muñoz-Porras,
Mirror symmetry on K3 surfaces via Fourier-Mukai transform,
 Commun. Math. Phys. **195**(1998) 79–93, alg-geom/9704023
- [**GLO**] V. Golyshev, V. Lunts and D. Orlov, *Mirror symmetry for abelian varieties*,
 J. Alg. Geom. **10**(2001), 433-496, math.AG/9812003
- [**VY**] C. Vafa and S.-T. Yau (eds.), *Winter School on Mirror Symmetry, Vector Bundles and
 Lagrangian Submanifolds*, AMS, 2001
- [**LYZ**] N. C. Leung, S.-T. Yau and E. Zaslow, *From special Lagrangian to Hermitian-Yang-Mills
 via Fourier-Mukai transform*, in [**VY**] 209–215, math.DG/0005118
- [**AP**] D. Arinkin and A. Polishchuk, *Fukaya category and Fourier transform*,
 in [**VY**] 261–274, math.AG/9811023
- [**T00b**] R. P. Thomas, *Mirror symmetry and actions of braid groups on derived categories*,
 in [**VY**] 363–377, math.AG/0001044
- [**ST**] P. Seidel and R. P. Thomas, *Braid group actions on derived categories of coherent sheaves*,
 math.AG/0001043
- [**KhS**] M. Khovanov and P. Seidel, *Quivers, Floer cohomology, and braid group actions*,
 math.QA/0006056

次のような応用もある .

- [**BeP**] A. Beilinson and A. Polishchuk, *Torelli theorem via Fourier-Mukai transform*, in “Moduli
 of Abelian varieties”, 127–132, Progr. Math. 195, Birkhäuser, 2001, math.AG/9811136
- [**BKR**] T. Bridgeland, A. King and M. Reid, *Mukai implies McKay: the McKay correspondence
 as an equivalence of derived categories*, J. AMS **14**(2001), 535–554, math.AG/9908027

D 加群版 Fourier-Mukai 変換に先鞭をつけたのは , Sato-Krichever の KP hierarchy の理論 (無
 限次元 Grassmannian に埋めこまれた Jacobian 上の flow と見る) を Fourier-Mukai 変換としてと
 らえた

- [**Ny91**] A. Nakayashiki, *Structure of Baker-Akhiezer modules of principally polarized Abelian
 varieties, commuting partial differential operators and associated integrable systems*,
 Duke Math. J. **62**(1991), 315–358
- [**Ny94**] A. Nakayashiki, *Commuting partial differential operators and vector bundles over abelian
 varieties*, Amer. J. Math. **116**(1994), 65–100

これにつづいたのが ,

- [**Ro96a**] M. Rothstein, *Connections on the total Picard sheaf and the KP-hierarchy*,
 Acta Appl. Math. **42**(1996), 297–308
- [**Ro96b**] M. Rothstein, *Sheaves with connections on abelian varieties*,
 Duke Math. J. **84**(1996), 565–598, alg-geom/9602023

[La96] G. Laumon, *Transformation de Fourier généralisé*, alg-geom/9603004.

さらに Beilinson-Bernstein の D-algebra , Kapranov の NC-scheme によって整理したのが ,

[PR] A. Polishchuk and M. Rothstein, *Fourier transform for D-algebras*,
Duke Math. J. **109**(2001), 123–146, math.AG/9901009

幾何学的 Langlands 対応 (Conformal Field Theory の Class Field Theory への応用) を non-abelian 版 Fourier-Mukai 変換と見たのが

[BF] D. Ben-Zvi and E. Frenkel, *Spectral curves, opers and integrable systems*, math.AG/9902068

Chow 群の Fourier-Mukai 変換については ,

[Kl] S. L. Kleiman, *Algebraic cycles and the Weil conjectures*, in "Dix Exposés sur la Cohomologie des Schéma", North-Holland, 1968

[Bea] A. Beauville, *Quelques remarques sur la transformation de Fourier dans l'anneau de Chow d'une variété abélienne*, Lect. Notes Math. 1016, 1983, 238–260

[Bea] A. Beauville, *Sur l'anneau de Chow d'une variété abélienne*,
Math. Ann. **273**(1983), 647–651

[DM] C. Deninger and J. Murre *Motivic decomposition of abelian schemes and the Fourier transform*, J. reine angew. math. **422**(1991), 201–219

[Kü91] K. Künnemann, *On the Chow motives of an abelian schemes*,
Proc. Symp. Pure Math. **55**(1994), 189–205

[Kü93] K. Künnemann, *a Lefschetz decomposition for Chow motives of abelian schemes*, In-
vet. math. **113**(1993), 85–102

[Kü94] K. Künnemann, *Arakelov Chow groups of abelian schemes, arithmetic Fourier transform, and analogues of the standard conjectures of Lefschetz type*, Math. Ann. **300**(1994), 365–392

[Ba] E. Bachmat, *A Fourier transform construction for Arakelov-Chow groups of an arithmetic abelian schemes*, Intern. Math. Res. Notices 1993, No.7

[Mur] J. Murre, *Algebraic cycles on abelian varieties: application of abstract Fourier theory*, in "The Arithmetic and Geometry of Algebraic Cycles ", B. B. Gordon et al.(eds.), Kluwer, 2000, 307–320

A.8 射影空間上のベクトル束

tilting の発端は ,

[BGP] I. N. Bernshtein (J. N. Bernstein), I. M. Gel'fand and V. A. Ponomarev, **Coxeter functors and Gabriel's theorem**, Russian Math. Surveys **28**(1973), 17–32

[BB] S. Brenner and M. C. R. Butler, *Generalization of the Bernstein-Gel'fand-Ponomarev reflection functors*, Lect. Notes Math. 832, 103–169, Springer, 1980

一方, 射影空間上のベクトル束と mutation については,

- [BGG] I. N. Bernshtein (J. N. Bernstein), I. M. Gel'fand and S. I. Gel'fand, *Algebraic bundles over P^n and problems of linear algebra*, Funct. Anal. Appl. **12**(1978), 212–214
- [Bei78] A. A. Beilinson, *Coherent sheaves on P^n and problems of linear algebra*, Funct. Anal. Appl. **12**(1978), 214–216
- [Bei83/84] A. A. Beilinson, *The derived category of coherent sheaves on P^n* , Sel. Math. Sov. **3**(1983/84), 233–237
- [DrLP] J. M. Drezet and J. Le Potier, *Fibrés stables et fibrés exceptionnels sur \mathbb{P}^n* , Ann. Sci. Éc. Norm. Sup. 4^e sér. **18**(1985), 193–244
- [Dr] J. M. Drezet, *Fibrés exceptionnels et suite spectrale de Beilinson généralisée sur $\mathbb{P}_2(\mathbb{C})$* , Math. Ann. **275**(1986), 25–48
- [Dr] J. M. Drezet, *Exceptional bundles and moduli spaces of stable sheaves on \mathbb{P}^n* , in London Math. Soc. Lect. Notes Ser. 208, Cambridge, 1995
- [GR] A. L. Gorodentsev and A. N. Rudakov, *Exceptional vector bundles on projective spaces*, Duke Math. J. **54**(1987), 115–130
- [Ka] M. M. Kapranov, *On the derived categories on some homogeneous spaces*, Invent. math. **92**(1988), 479–508
- [Ru] A. N. Rudakov et al., *Helices and Vector Bundles: Seminaire Rudakov*, London Math. Soc. 148, Cambridge, 1990
- [Z] E. Zaslow, *Solitons and helices: the search for a math-physics bridge*, Commun. Math. Phys. **175**(1996), 337–375, hep-th/9408133

この2つの流れが合流して,

- [Bo] A. I. Bondal, *Representation of associative algebras and coherent sheaves*, Math. USSR Izvestiya **34**(1990), 23–42
- [BK] A. I. Bondal and M. M. Kapranov, *Representable functors, Serre functors and mutations*, Math. USSR Izvestiya **35**(1990), 519–541
- [BoP] A. I. Bondal and A. E. Polishchuk, *Homological properties of associative algebras: the method of helices*, Russian Acad. Sci. Izv. Math. **42**(1994), 219–260
- [P] A. E. Polishchuk, *I. N. Bernshtein-I. M. Gel'fand-S. I. Gel'fand equivalence for triangulated categories generated by helices*, Russian Acad. Sci. Izv. Math. **43**(1994), 127–140
- [GMV] S. Gelfand, R. MacPherson, and K. Vilonen, *Perverse sheaves and quivers*, Duke Math. J. **83**(1996), 621–643

Fano 多様体上のベクトル束の mutation と, Landau-Ginzburg model 間のミラー対称性については,

[Ho] K. Hori, *Mirror symmetry and quantum geometry*, hep-th/0207068

[HV] K. Hori and C. Vafa, *Mirror symmetry*, hep-th/0002222

[HIV] K. Hori, A. Iqbal and C. Vafa, *D-branes and mirror symmetry*, hep-th/0005247

Bondal-Orlov の定理については ,

[BO02] A. Bondal and D. Orlov, *Derived categories of coherent sheaves*, math.AG/0206295

[BO95] A. Bondal and D. Orlov, *Semiorthogonal decompositions for algebraic varieties*,
alg-geom/9506012

[BO97] A. Bondal and D. Orlov, *Reconstruction of a variety from the derived category and groups
of autoequivalences*, Compositio Math. **125**(2001), 327–344, alg-geom/9712029

射影束定理については ,

[Q] D. Quillen, *Higher algebraic K-theory*, in Lect. Notes Math. 341, 85–147, Springer, 1972

[CG] N. Chriss and V. Ginzburg, *Representation Theory and Complex Geometry*,
Birkhäuser, 1997

t 構造については ,

[BBD] A. A. Beilinson, J. Bernstein and P. Deligne, *Faisceaux pervers*, in Astérisque 100,
Soc. Math. France, 1982

A.9 Nahm 変換

ADHM 構成とツイスターについては ,

[A] M. F. Atiyah, *Geometry of Yang-Mills Fields*, Lez. Ferm. Acc. Naz. dei Lin. Sc. Norm. Sup.
Pisa, 1979

[Do] S. K. Donaldson, **Instantons and geometric invariant theory**,
Commun. Math. Phys. **93**(1984), 453–460

インスタントンのモジュライの計量については ,

[Mac91] A. Maciocia, *Metrics on the moduli spaces of instantons over Euclidean 4-space*,
Commun. Math. Phys. **135**(1991), 467–482

点の Hilbert scheme (退化したインスタントンのモジュライ) については ,

[Nj99] H. Nakajima, *Lectures on Hilbert Schemes of Points on Surfaces*, Univ. Lect. Ser. 18,
AMS, 1999

Nahm 変換については ,

- [Nm82] W. Nahm, *The construction of all self-dual multi-monopoles by the ADHM method*, in “Monopoles in Quantum Field Theory”, 87, Craigie et al. (eds.), World Scientific, 1982, 87–94
- [Nm82] W. Nahm, *Self-dual monopoles and calorons*, in Lect. Notes Phys. 201, 189–200, Springer, 1984
- [CG] E. Corrigan and P. Goddard, *Construction of instantons and monopole solutions and reciprocity*, Ann. of Phys. **154**(1984), 253–279
- トーラス上のインスタントンの Fourier-Mukai-Nahm 変換については ,
- [S] H. Schenk, *On a generalized Fourier transform of instantons over flat tori*, Commun. Math. Phys. **116**(1988), 177–183
- [BvB] P. J. Braam and P. van Baal, *Nahm’s transformation for instantons*, Commun. Math. Phys. **122**(1989), 267–280
- 後者はモジュライの計量についても考察している .
- \mathbb{R}^3 上のモノポールのツイスターによる記述は ,
- [H] N. J. Hitchin, *On the construction of monopoles*, Commun. Math. Phys. **89**(1983), 579–602
- モノポールの Nahm 変換の数学的正当化は ,
- [Nj93] H. Nakajima, *Monopoles and Nahm’s equations*, in “Einstein Metrics and Yang-Mills Connections”, T. Mabuchi and S. Mukai (eds.), 1993