

半 Abel 多様体に付随する Milnor K -群の motif 論的解釈

望月 哲史 (Mochizuki Satoshi) *

東京大学大学院数理科学研究科

Graduate School of Mathematical Sciences, the University of Tokyo

mochi@ms.u-tokyo.ac.jp

0 序

このノートは、12 月の筆者の講演の survey である。残念ながら、紙面の都合で詳しく述べられない箇所は、[MI1], [MI2] を参照して戴きたい。又その後の進展については [MI3] を参照して戴きたい。まず [Som90] p.105 で提示された予想を引用しよう。

引用 0.1. (前略) We define and study Milnor K -groups $K(k, G_1, \dots, G_r)$ attached to a finite family of semi-Abelian varieties G_1, \dots, G_r over a field k (中略) In the philosophy of motives, our K -group $K(k, G_1, \dots, G_r)$ should be interpreted as follows. (中略), the Milnor K -group $K_r^M(k)$ is thought of as the ‘motivic cohomology’ $\text{Ext}_{\mathcal{M}_k}^r(\mathbb{Z}, \mathbb{Z}(r))$, where $\text{Ext}_{\mathcal{M}_k}$ means the higher extension for the category \mathcal{M}_k of motives over k . (中略), Deligne construct 1-motives $G_i[-1]$ over k from G_i . I expect that $K(k, G_1, \dots, G_r)$ is isomorphic to $\text{Ext}_{\mathcal{M}_k}^r(\mathbb{Z}, G_1[-1] \otimes \dots \otimes G_r[-1])$.

一方 [Org04] の次の主定理 (c.f [TriCa]) も思い出そう。

定理 0.2 ([TriCa] 3.4, [Org04] Théorème 3.4.1).

充満忠実三角化函手 $\mathcal{D}^b(1\text{-IsoMot}(k)) \rightarrow \text{Iso DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ が存在する。

この結果によって、予想は次の様に纏められる。

予想 0.3.

完全体 k 上の半 abel 多様体、 G_1, \dots, G_r に対して、

$$K(k, G_1, \dots, G_r)_{\mathbb{Q}} \xrightarrow{\sim} \text{Hom}_{\text{Iso DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)}(\mathbb{Z}, G_1 \otimes \dots \otimes G_r)$$

*This research is supported by the 21 century COE program at Graduate School of Mathematical Sciences, the University of Tokyo.

が成立するか？ 但し、1-motif G_1, \dots, G_r を 定理 0.2 の射 で、 $\text{Iso DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ の対象と見做している。

0.4. 上の notaiton で k が完全体で、 $G_1 = \dots = G_r = \mathbb{G}_m$ の場合は この予想は正しい。(c.f. [BKcon] Theorem 3.4 + [CohTh] Proposition 3.1.11 + [TriCa])

本ノートでは、この予想に関して著者が考えた事を紹介する。

謝辞 この一連の研究を通じて、斎藤毅先生、斎藤秀司先生、加藤和也先生、山崎隆雄先生、木村健一郎先生、竹田雄一郎先生、Bruno Kahn 先生に 有益な助言を戴いた事を感謝致します。

1 準備

この章では、序で述べた予想を詳しく解説する為に 基本的な notation の解説をする。

1.1 半 abel 多様体に付随する Milnor K 群

1.1. k 上の半 abel 多様体の有限族 G_1, \dots, G_r に対して、加藤和也氏は次のような群を定義した。

$$K(k, G_1, \dots, G_r) = \bigoplus_{L/k: \text{有限次拡大}} G_1(L) \otimes \dots \otimes G_r(L) \left/ \left\langle \begin{array}{l} \cdot \text{射影的公式} \\ \cdot \text{Weil 相互律} \end{array} \right\rangle \right.$$

$G_1(L) \otimes \dots \otimes G_r(L) \ni a_1 \otimes \dots \otimes a_r$ の類を $\{a_1, \dots, a_r\}_{L/k}$ という様に表す。

例 1.2. この群は、 $G_1 = \dots = G_r = \mathbb{G}_m$ に対して、Milnor K 群 $K_r^M(k)$ と同型である。

$$K_r^M(k) \ni \{a_1, \dots, a_r\} \mapsto \{a_1, \dots, a_r\}_{k/k} \in K(k, \mathbb{G}_m, \dots, \mathbb{G}_m)$$

例 1.3. C を k 上の k 有理点を持つ非特異代数曲線とする時、次の同型が成立する。

$$K(k, \text{Jac } C, \mathbb{G}_m) \ni \{a, b\}_{E/k} \mapsto N_{E/k}(a \cdot b) \in V(C)$$

ここで、 $V(C)$ は S. Bloch 氏が定義した (c.f. [Blo81]) 次式で定まる群である。

$$V(C) = \frac{\text{Ker} \left(\bigoplus_{x \in C^1} k(x)^\times \xrightarrow{\sum N_{k(x)/k}} k^\times \right)}{\text{Im} \left(K_2(K(C)) \xrightarrow{\oplus_{x \in C^1} \partial_x} \bigoplus_{x \in C^1} k(x)^\times \right)}$$

歴史的には、半 abel 多様体に付随する Milnor K 群は、 \mathbb{G}_m や代数曲線の Jacobian に対して、知られていた諸処の結果を統一する為に案出された。(詳細は、[MI1] 参照。)

1.2 幾何学的 motif の圏

1.4. 代数多様体を始域とする transfer 付きの関手を 反変的な関手と解する為には、代数多様体間の射を拡張しておくと便利である。例えば、 k 上準射影的分離的有限型 smooth scheme の圏 Sm/k を部分圏として含む様に多様体間の射のクラスを拡張した圏 $\text{SmCor}(k)$ を定義しておく。加法圏 $\text{SmCor}(k)$ の定義と tensor 構造を述べると、

対象 : k 上準射影的分離的有限型 smooth scheme

$\text{Hom}(Y, X) := \{Y \text{ から } X \text{ への 有限全射的対応}\}$

$X \otimes Y := X \times Y$

である。

例えば、 K 上の smooth scheme 間の有限全射 $f : X \rightarrow Y$ について、 f の転置 ${}^t f : Y \rightarrow X$ が $\text{SmCor}(k)$ の射として定義出来る。つまり、 $s(\Gamma_f) \in \text{Hom}_{\text{SmCor}(k)}(Y, X)$ 。ここで、 $s : X \times Y \rightarrow Y \times X$ は switch 同型である。

1.5. 体 k 上の幾何学的 motif の圏 $\text{DM}_{\text{gm}}(k)$ は、

$$\text{DM}_{\text{gm}}(k) = \text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)[\mathbb{Z}(1)^{-1}]$$

で定義されるので、 $\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ の定義を述べる事から始める。 $\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ は tensor 積構造を持った三角化圏であって、

$$\mathcal{H}^b(\text{SmCor}(k)) \left/ \left\langle \left\{ \begin{array}{l} \cdot \mathbb{A}_k^1\text{-homotopy 不変性} \\ \cdot \text{Mayer-Vietoris 完全列} \end{array} \right\} \right. \right\rangle \text{ の擬 abel 包}$$

として定まる。ここで、 $\mathcal{H}^b(-)$ は、有界複体の homotopy 圏を表す。この圏は [BS01] に依って三角化圏である。

又 smooth scheme にその幾何学的 motif を対応させる自然な関手

$$\text{M}_{\text{gm}} : \text{SmCor}(k) \rightarrow \text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$$

が定まる。 $\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } k)$ は tensor 構造に関して単位的対象なので、 \mathbb{Z} と表す事にする。

例 1.6. $L/K/k$ を有限次拡大体とする。この時 標準射 $i : \text{Spec } L \rightarrow \text{Spec } K$ について $\text{M}_{\text{gm}}({}^t i) : \text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } K) \rightarrow \text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } L)$ なる射を得る。この射は $N_{L/K}$ と書かれるべきであろう。という所為は、 k が完全体の時、次の可換図式が知られているからである。

$$\begin{array}{ccc} \text{Hom}(\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } L), \mathbb{Z}\{n\}) & \xrightarrow{\sim} & K_n^M(L) \\ \text{Hom}(N_{L/K}, \mathbb{Z}\{n\}) \downarrow & & \downarrow N_{L/K} \\ \text{Hom}(\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } K), \mathbb{Z}\{n\}) & \xrightarrow{\sim} & K_n^M(K). \end{array}$$

(c.f. [BKcon] Lemma 3.4.4.)

1.7. 次に Tate 対象 $\mathbb{Z}(1)$ の定義であるが、射影的 bundle 公式

$$M_{\text{gm}}(\mathbb{P}^1) = \mathbb{Z} \oplus \mathbb{Z}(1)[2]$$

を期待して、

$$\mathbb{Z}(1) := \text{homotopy fiber}(M_{\text{gm}}(\mathbb{P}^1) \xrightarrow{M_{\text{gm}}(\text{str.})} \mathbb{Z})[-2]$$

と定める。更に $\mathbb{Z}(n) = \mathbb{Z}(1)^{\otimes n}$ とおいて任意の $A \in \text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ について、次のように定める。

$$\begin{cases} A(n) = A \otimes \mathbb{Z}(n) \\ A\{n\} = A \otimes \mathbb{Z}(n)[n] \\ A((n)) = A \otimes \mathbb{Z}(n)[2n] \end{cases}$$

次の定理は $\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ と $\text{DM}_{\text{gm}}(k)$ の関係を表している。

1.8. (c.f. [Voe02] 簡約定理)

k を完全体とする。各 $A, B \in \text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)$ について自然な射

$$? \otimes \text{id}_{\mathbb{Z}(1)} : \text{Hom}_{\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)}(A, B) \rightarrow \text{Hom}_{\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k)}(A(1), B(1))$$

は同型。従って標準埋め込み

$$\text{DM}_{\text{gm}}^{\text{eff}}(k) \rightarrow \text{DM}_{\text{gm}}(k)$$

は充満忠実。

1.3 1-motif

この節では、Deligne の 1-motif ([Del74]) を簡単に復習する。

記法 1.9.

加法圏 \mathcal{C} に対して、同伴 \mathbb{Q} -線形圏を $\text{Iso}\mathcal{C}$ で表す。つまり

$$\text{Ob Iso}\mathcal{C} = \text{Ob}\mathcal{C}$$

$$\text{Hom}_{\text{Iso}\mathcal{C}}(-, -) := \text{Hom}_{\mathcal{C}}(-, -) \otimes_{\mathbb{Z}} \mathbb{Q}$$

と定める。

定義 1.10 (1-motif).

k 上の 1-motif の圏 $1\text{-Mot}(k)$ を $\mathcal{C}((\text{Spec } k)_{\text{fppf}})$ の充満部分圏で可換群 k -scheme の長さ 1 の複体

$$M = [X \rightarrow S]$$

からなるものとする。ここで、 X は次数 -1 に位置し、étale local に有限生成自由 Abel 群と同型で、 S は次数 0 に位置し半 Abel 多様体である。

記法 1.11 (1-isomotif).

$\text{Iso } 1\text{-Mot}(k)$ を $1\text{-IsoMot}(k)$ と表して、 $1\text{-IsoMot}(k)$ の対象を 1-isomotif という。

命題 1.12. ([Org04] 3.2.2, 3.2.4)

$1\text{-IsoMot}(k)$ は Abel 圏であり cohomology 次元 ≤ 1 である。

2 Motif 論的相互律

さて、予想 0.3 を信じるならば、何故

$$\text{Hom}_{\text{DM}_{\text{gm}}(k)}(\mathbb{Z}, G_1 \otimes \dots \otimes G_r)$$

は Weil 相互律を充たすのであろうか? という自然な問いかけが生じる。この章では、Weil 相互律の復習から始めて、その辺りの事情を分析したい。更に詳しい詳細は、[MI1] 参照。

2.1. まず $f, g \in k(t)$ に対する 古典的な二つの等式

$$\sum_{v:k(t)/k \text{ の place}} \text{deg}(v) v(f) = 0$$

$$\prod_{v:k(t)/k \text{ の place}} N_{k(v)/k}(f, g)_v = 1$$

を思い起こそう。(後者を Weil 相互律と呼んだ。(c.f. [Wei67] Ch. III $n^\circ 4$)) この等式は、Milnor 氏 (c.f. [Mil70])、Bass 氏と Tate 氏 (c.f. [BT73])、加藤和也氏そして最終的には、Suslin 氏に依って Milnor K 群を使って次のように統一化・一般化されている。

2.2. (Milnor K 群の相互律 c.f. [Sus82])

K を k 上の代数関数体とする。この時、非負整数 n について次の合成は零射

$$K_{n+1}^M(K) \xrightarrow{\oplus_v \partial_v} \bigoplus_v K_n^M(k(v)) \xrightarrow{\sum N_{k(v)/k}} K_n^M(k)$$

思索 2.3. Milnor K 群は motivic cohomology 群と解せる、つまり一般の体 F について、

$$K_n^M(F) = H_{\mathcal{M}}^n(\text{Spec } F, \mathbb{Z}(n))$$

が成立する (c.f. [BKcon] Theorem 3.4) ので、上の定理はこの同型を通じて motivic cohomology 群の相互律と解せる。我々はより一般の motivic cohomology 群に対する相互律を知りたいので、(例えば 後述の点付き曲線に付随する motivic cohomology 群) より本源的な形の相互律が必要である。

理想的定理 2.4. (*Motif* 論的相互律)

2.2 の notation で 次の合成は 幾何学的 *motif* の圏の *pro*-圏 $\text{Pro-DM}_{\text{gm}}(k)$ の中で零射

$$\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } k)\{1\} \xrightarrow{\Sigma N_{k(v)/k}\{1\}} \prod_v \text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } k(v))\{1\} \xrightarrow{\prod \partial_v} \text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } K)$$

2.5. 何故 上の形の statement が本源的なのであろうか？ その訳を説明しよう。各 *motif* $A \in \text{DM}_{\text{gm}}(k)$ と $\text{M}_{\text{gm}}(X) = \{\text{M}_{\text{gm}}(X_i)\}_{i \in I} \in \text{Pro-DM}_{\text{gm}}(k)$ に対して次のように *motivic cohomology* 群を定義するのは自然である。

$$H_{\mathcal{M}}^n(X, A(q)) = \text{inj lim Hom}_{\text{DM}_{\text{gm}}(k)}(\text{M}_{\text{gm}}(X_i), A(q)[n]).$$

もし k が完全体ならば、簡約定理 1.8 を使って、*motif* 論的相互律から全ての n と q に対して 次の合成が零射である事が従う。

$$H_{\mathcal{M}}^{n+1}(\text{Spec } K, A(q+1)) \xrightarrow{\oplus \partial_v} \bigoplus_v H_{\mathcal{M}}^n(\text{Spec } k(v), A(q)) \xrightarrow{\Sigma N_{k(v)/k}} H_{\mathcal{M}}^n(\text{Spec } k, A(q))$$

まず次の定理が成り立つ事に依り 理想的定理 2.4 は机上の空論でない事が判る。

定理 2.6. (*[MotIn] Corollary 5.25*)

k を完全体とする時 *motif* 論的相互律から *Milnor K* 群の相互律が従う。

2.7. 上記の定理の証明の問題点は、0.4、1.6 及び 2.5 等を鑑みれば、*pro-motif* の圏の中で定義された *residue* 写像が *tame* 記号と両立するか？ という事を問っている。正確には K/k の離散付値 v に対して、次の可換図式を示した。

$$\begin{array}{ccc} \text{Hom}(\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } K), \mathbb{Z}\{n+1\}) & \xleftarrow{\sim} & K_{n+1}^M(K) \\ \text{Hom}(\partial_v, \mathbb{Z}\{n+1\}) \downarrow & & \downarrow (-1)^n \partial_v \\ \text{Hom}(\text{M}_{\text{gm}}(\text{Spec } k(v))\{1\}, \mathbb{Z}\{n+1\}) & \xleftarrow{\sim} & K_n^M(k(v)) \end{array}$$

これは 人工的に作られたような *tame* 記号に幾何学的な意味を与たえている (例えば、[MI1] 2.13 参照)。

筆者は、 k が特異点解消を許す完全体である時 次の結果を得た。

定理 2.8. (*[MotIn] Theorem 5.18*)

上の仮定の下で、*motif* 論的相互律は正しい。

3 Jacobi 多様体に対する予想の解決

思索 2.3 に述べた様に、*Milnor K* 群は *motivic cohomology* 群と解せられた。この様に 染川 *K* 群も *motivic cohomology* 群と解釈出来る様に *motivic*

cohomology 群の概念を拡張しておきたい。又、この群は、 $DM_{gm}(k)$ の Hom 集合としても解釈され得るように定義したい。この章では、点付き曲線に付随する motivic cohomology 群の定義を与える。

3.1 埋め込み定理

$DM_{gm}^{eff}(k)$ の基本性質を調べる為に、[TriCa] に於いて Voevodsky は層論的手法を採用した。詳しく述べれば、彼は層の圏を使って別の圏 $DM_{gm}^{eff}(k)$ を構成して、 $DM_{gm}^{eff}(k)$ を $DM_{gm}^{eff}(k)$ に tensor 圏かつ三角化圏として充満忠実に埋め込んだ。つまり、 $DM_{gm}(k)$ の Hom 集合を層複体の hyper cohomology 群として記述出来る訳である。我々も予想に挑む為に層複体の hyper cohomology 群としての記述を利用するので、 $DM_{gm}^{eff}(k)$ の構成を簡単に復習しておく必要がある。

3.1. Sm/k 上の transfer 付き Nisnevich 層とは $SmCor(k)$ から abel 群の圏への加法的反変関手であって Sm/k に制限した時に Nisnevich 層となる事である。 $Shv_{Nis}(SmCor(k))$ で transfer 付き Nisnevich 層の圏を表す。

例 3.2. k 上の smooth scheme X について、前層 $Z_{tr}(X) := Hom_{SmCor(k)}(?, X)$ は transfer 付き Nisnevich 層である。(c.f. [TriCa] Lemma 3.1.2)。

3.3. $Shv_{Nis}(SmCor(k))$ は abel 圏なので (c.f. [TriCa] Theorem 3.1.4) その上に有界な複体の導来圏 $D^-(Shv_{Nis}(SmCor(k)))$ が考えられる。 k 上の effective motivic 複体の圏 $DM_{gm}^{eff}(k)$ はその cohomology 層が A_k^1 -homotopy 不変な対象からなる充満部分圏として定義される。 k が完全体の時、 $DM_{gm}^{eff}(k)$ は三角化圏になる。(c.f. [TriCa] Proposition 3.1.13)。

但し $SmCor(k)$ 上の反変関手が A_k^1 -homotopy 不変とは全ての $X \in Sm/k$ について射影 $X \times A_k^1 \rightarrow X$ が同型 $F(X) \rightarrow F(X \times A_k^1)$ を誘導する事とする。

$DM_{gm}^{eff}(k)$ は別の表示も持つ。

3.4. Δ^\bullet を Sm/k の標準余単体的対象とする。 Sm/k 上の transfer 付き前層 F に対して Sm/k 上の前層複体を $C_n(F) = \underline{Hom}(\Delta^n, F)$ で微分を Δ^\bullet の境界作用素の交代和として定める。この複体は F の特異単体的複体と呼ばれる。 k が完全体の時、 Sm/k 上の各 transfer 付き前層 F に対して、複体 $C_*(F)$ の cohomology 前層 $h_i(F)$ とその Nisnevich 層化 $h_i^{Nis}(F)$ は A_k^1 -homotopy 不変である。(c.f. [TriCa] Lemma 3.2.1)。

つまり、 $C_*(?) : Shv_{Nis}(SmCor(k)) \rightarrow DM_{gm}^{eff}(k)$ なる関手と解せられる。更に関手 $C_*(?)$ は関手

$$RC : D^-(Shv_{Nis}(SmCor(k))) \rightarrow DM_{gm}^{eff}(k)$$

に拡張され、この関手は自然な埋め込みの左随伴関手である。関手 \mathcal{RC} により

$$\mathrm{DM}_-^{\mathrm{eff}}(k) = D^-(\mathrm{Shv}_{\mathrm{Nis}}(\mathrm{SmCor}(k))) / \langle \mathbb{A}_k^1 \text{-homotopy 不変} \rangle$$

と解せられる。(c.f. [TriCa] Proposition 3.2.3)

3.5. $\mathrm{DM}_-^{\mathrm{eff}}(k)$ の tensor 構造は、上の表示を用いて $D^-(\mathrm{Shv}_{\mathrm{Nis}}(\mathrm{SmCor}(k)))$ の tensor 構造から誘導される。 $D^-(\mathrm{Shv}_{\mathrm{Nis}}(\mathrm{SmCor}(k)))$ の tensor 構造は、まず smooth schemes X, Y について

$$\mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(X) \otimes \mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(Y) := \mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(X \times Y)$$

で定義して、一般の transfer 付き前層は $\mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(?)$ の直和達による分解を用いて拡張する。

3.6. (埋め込み定理 c.f. [TriCa] Theorem 3.2.6)

次のような条件を充たし 次図を可換にする関手達が存在する。

1. 関手 i は 充満忠実で *dense* な像を持つ。

$$\begin{array}{ccc} \mathcal{H}^b(\mathrm{SmCor}(k)) & \xrightarrow{L} & D^-(\mathrm{Shv}_{\mathrm{Nis}}(\mathrm{SmCor}(k))) \\ \downarrow & & \mathcal{RC} \downarrow \\ \mathrm{DM}_{\mathrm{gm}}^{\mathrm{eff}}(k) & \xrightarrow{i} & \mathrm{DM}_-^{\mathrm{eff}}(k) \end{array}$$

2. k 上の各 smooth scheme X について $\mathcal{RC}(L(X))$ は $C_*(\mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(X))$ と標準的に同型。

3. 全ての関手は、tensor 構造と三角化圏の構造を保つ。

3.2 点付き曲線に付随する motivic 複体

この項では、Jacobi 多様体に対する予想の類似の結果を紹介する。

3.7. k 上の k 有理点付き smooth 曲線 $(C_1, x_1), \dots, (C_r, x_r)$ に付随する motivic 複体 $\mathbb{Z}((C_1, x_1) \wedge \dots \wedge (C_r, x_r))$ 、或いは略して $\mathbb{Z}(C_1 \wedge \dots \wedge C_r)$ を次の様に定義する。

$$\mathbb{Z}(C_1 \wedge \dots \wedge C_r) = C^*(\mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(C_1, x_1) \otimes \dots \otimes \mathbb{Z}_{\mathrm{tr}}(C_r, x_r))[-r]$$

3.8. $\mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))$ の $X \in \mathrm{Sm}/k$ への制限は、Zariski 位相に関する層複体になっているので、motivic cohomology 群 $H_{\mathcal{M}}^n(X, \bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))$ 、或いは略して $H_{\mathcal{M}}^n(X, \bigwedge_{i=1}^r C_r)$ を Zariski 位相に関する motivic 複体 $\mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))$ の hyper cohomology として定義する。:

$$H_m^n(X, \bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i)) = \mathbb{H}_{\mathrm{Zar}}^n(X, \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i)))$$

3.9. [TriCa] にある様に次が成立する。

$$\mathbb{H}_{\text{Nis}}^n(X, \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))|_X) = \text{Hom}_{\text{DM}^{\text{eff}}(k)}(M(X), \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))[n])$$

更に k が完全体ならば、[CohTh] Proposition 3.1.11、により、次も成立する。

$$\mathbb{H}_{\text{Zar}}^n(X, \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))|_X) = \mathbb{H}_{\text{Nis}}^n(X, \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^r (C_i, x_i))|_X)$$

例 3.10. 点付き曲線 (C, x) が射影的である場合、次が成立する。

$$H_{\mathcal{M}}^1(k, (C, x)) = \text{Ker}(\text{CH}_0(C) \xrightarrow{\text{deg}} \mathbb{Z})$$

例 3.11. X を k 上の滑らかな曲線として、 X の良い compact 化 \bar{X} とは、開埋込 $X \hookrightarrow \bar{X}$ で、 \bar{X} が、 k 上固有非特異曲線で $X_\infty = \bar{X} - X$ が \bar{X} に affine 開近傍を持つ事である。

(C, x) を affine 点付き曲線で、その良い compact 化を (\bar{X}, X_∞) とすると、次が成立する。

$$H_{\mathcal{M}}^1(k, (C, x)) = \text{Ker}(\text{Pic}(\bar{X}, X_\infty) \xrightarrow{\text{deg}} \mathbb{Z})$$

ここに $\text{Pic}(\bar{X}, X_\infty)$ は、相対 Picard 群である。つまり、

$$\text{Pic}(\bar{X}, X_\infty) = \{(\mathcal{L}, t); \mathcal{L} : \bar{X} \text{ 上の直線束, } t : X_\infty \text{ 上での自明化}\} / \text{同型}$$

群算法は、 \otimes , i.e., $(\mathcal{L}, t) \otimes (\mathcal{L}', t') = (\mathcal{L} \otimes \mathcal{L}', t \otimes t')$ で定まっている。

そして、係数体 k に然るべき制限を加えると、次が示せる。

定理 3.12. ([MotIn] Theorem 5.31)

$(C_1, a_1), \dots, (C_n, a_n)$ を k 上射影的滑らかな点付き曲線とすると次が成立する。

$$K(k, \text{Jac } C_1, \dots, \text{Jac } C_n) \xrightarrow{\sim} \text{Hom}_{\text{DM}^{\text{eff}}(k)}(M(\text{Spec } k), \mathbb{Z}(\bigwedge_{i=1}^n C_i)[n])$$

参考文献

- [BS01] P. Balmer, M. Schlichting, *Idempotent completion of triangulated categories*, J. Algebra **236** (2001), p. 819-834.
- [BT73] H. Bass and J. Tate, *The Milnor ring of global field*, Springer Lecture Notes in Math. **342** (1973), p. 349-446.
- [Blo81] S. Bloch, *Algebraic K-theory and class field theory for arithmetic surface*, Ann. of Math. **114**, (1981), p. 229-266.
- [Del74] P. Deligne, *Théorie de Hodge III*, Publ. Math. I.H.E.S. **44** (1974), p.5-78.

- [Mil70] J. Milnor, *Algebraic K theory and quadratic forms*, Inventiones Math. (1970), p. 318-344.
- [MI1] S. Mochizuki, *Motivic interpretation of Milnor K-groups attached to semi-abelian varieties I*, private note, <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~mochi/happyou/resume1.html>.
- [MI2] S. Mochizuki, *Motivic interpretation of Milnor K-groups attached to semi-abelian varieties II*, private note, <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~mochi/happyou/resume2.html>.
- [MI3] S. Mochizuki, *Motivic interpretation of Milnor K-groups attached to semi-abelian varieties III*, private note, <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~mochi/happyou/resume3.html>.
- [MotIn] S. Mochizuki, *Motivic interpretation of Milnor K-groups attached to Jacobian varieties*, thesis.
- [Org04] F. Orgogozo, *Isomotifs de dimension inférieure ou égale à un*, manuscripta math. **115** (2004), p. 339-360.
- [Som90] M. Somekawa, *On Milnor K-groups attached at semi-Abelian varieties*, K-theory, **4** (1990), p. 105-119.
- [Sus82] A. Suslin, *Menicke symbols and their applications in the K-theory of fields*, Proceedings of a Conference held at Oberwolfach, June 16-20, 1980, Springer-Verlag, Berlin, 1982, p. 334-356.
- [BKcon] A. Suslin and V. Voevodsky, *Bloch-Kato conjecture and motivic cohomology with finite coefficients*, The Arithmetic and Geometry of Algebraic Cycles, Nato ASI series C, vol. 548, Kluwer, (2000), p. 117-189.
- [CohTh] V. Voevodsky, *Cohomological theory of presheaves with transfers*, in *Cycles, transfers, and motivic homology theories*, Annals of Mathematics Studies, vol **143**, Princeton University press, (2000), p. 87-137.
- [TriCa] V. Voevodsky, *Triangulated categories of motives over field*, in *Cycles, transfers, and motivic homology theories*, Annals of Mathematics Studies, vol **143**, Princeton University press, (2000), p. 188-254.
- [Voe02] V. Voevodsky, *Cancellation theorem*, preprint, <http://www.math.uiuc.edu/K-theory/0541/>.
- [Wei67] A. Weil, *Basic Number Theory*, Springer-Verlag (1967)