

Semi-stable reduction を持つ  $p$  進体上の  
代数多様体の  $p$  進コホモロジー

東大・数理 D 1 辻 雄 (Takeshi Tsuji)

$p$  進体上の smooth な多様体の  $p$  進 étale cohomology, de Rham cohomology, crystalline cohomology を関係づけるさまざまな比較定理 (Hodge-Tate 予想, de Rham 予想,  $C_{\text{cris}}$  予想,  $C_{\text{st}}$  予想) が A. Grothendieck, J. Tate 以来, J.-M. Fontaine, W. Messing, S. Bloch, 加藤和也, G. Faltings, 貞頭治, 都築暢夫らによって研究され, 現在では  $C_{\text{st}}$  予想 (semi-stable reduction を持つ場合の  $p$  進 étale cohomology と log crystalline cohomology の比較) を除いては, その variation も含めて, ほぼ完全な形で証明されている.  $C_{\text{st}}$  予想についても, 相対次元が  $\frac{p-1}{2}$  より小さい場合は, Fontaine, 加藤により証明されている [Ka3].  $C_{\text{st}}$  予想では定数係数  $\mathbb{Q}_p$  の  $p$  進 étale cohomology を扱っているが,  $\mathbb{Z}_p$  の場合も, semi-stable curve で base が絶対不分岐なときは, Faltings により, ある種の比較定理が得られている [Fa3] 4.3. 彼は, 係数の variation も考えているが, cohomology はすべて complex のレベルで扱われ

ている。ここでは、係数にある程度条件をつけた上で、彼の結果を高次元の場合へ一般化する。

§1ではその局所版にあたる log syntomic 複体と  $p$  進 vanishing cycle の比較定理を述べ、§2で主定理を述べる。

ページ数が限られているので、定義は、「感じ」を述べるにとどめ、また定理の証明もその方針のみを簡単に述べることにする。詳しくは、[T1], [T2]を参照していただきたい。また、log. structure という用語は、つねに Fontaine-Illusie の意味で使うものとする。([Ka2], [Ka4]を見よ。)

以下、記号を次のように固定する。

$A$  : 完備離散付値環

$k$  :  $A$  の剰余体。標数  $p > 0$  で完全であるとする。

$K$  :  $A$  の分数体。標数 0 であるとする。

$\bar{K}$  :  $K$  の代数的閉包。

$W = W(k)$  :  $k$  に係数を持つ Witt vector の環。

$S = \operatorname{Spec} A$ ,  $s = \operatorname{Spec} k$ ,  $\eta = \operatorname{Spec} K$ ,  $\bar{\eta} = \operatorname{Spec} \bar{K}$ 。

$(S, N)$  :  $S$  にその closed point より定まる log. str. を与えたもの

$X$  :  $A$  上の semi-stable reduction を持つ proper scheme

$(X, M)$  :  $X$  にその special fiber より定まる log. str. を与えたもの

$$\begin{array}{ccccccc}
 X_s & \xleftarrow{i} & X & \xleftarrow{j} & X_\eta & \longleftarrow & X_{\bar{\eta}} \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 s & \hookrightarrow & S & \longleftarrow & \eta & \longleftarrow & \bar{\eta}
 \end{array}$$

(各 square は Cartesian.)

§ 1. log syntomic 複体と  $p$  進 vanishing cycle.

(1.1) log connection 付き filtered module.

□  $MF_{big}^\nabla(X) \supset MF_{unif, [0, r]}^\nabla(X) \supset MF_{sc, [0, r]}^\nabla(X)$  を次のように定義する. ( $r \in \mathbb{Z}$ ,  $0 \leq r \leq p-2$ ) (cf. [Fa1] II, [Fa2] 4(f))

$X$  上 étale local に考えて, はりあわせで定義する.

$U \rightarrow X$  : étale ( $U_s \neq \emptyset$ ) に対して

$$\begin{array}{ccc}
 (U, M|_U) & \xleftarrow{i} & (Z, M_Z) \\
 \downarrow \quad \hookrightarrow & & \downarrow \text{log-smooth} \\
 (S, N) & \longrightarrow & \text{Spec } W
 \end{array}
 \quad \left\{ F_{Z_n} : (Z_n, M_{Z_n}) \rightarrow (Z_n, M_{Z_n}) \right\}_{n \geq 1}$$

Frobenius lifts

がとれているとき,  $(U_n, M_n|_{U_n}) \hookrightarrow (Z_n, M_{Z_n})$  の log PD-envelope を  $(D_n, M_{D_n})$  とし,

$MF_{big}^\nabla(U; i, \{F_{Z_n}\})$  の対象は, 4 つ組  $(\mathcal{M}, \mathcal{M}^i, \varphi_m^r, \nabla_m)$  からなる. ここで,  $\mathcal{M}$  は quasi-coherent  $\mathcal{O}_{D_n}$ -module ( $n \gg 0$ ),  $\mathcal{M}^i$  はその quasi-coherent sub  $\mathcal{O}_{D_n}$ -modules による減少 filtration,  $\varphi_m^r : \mathcal{M}^r \rightarrow \mathcal{M}$  ( $r < p$ ) は  $\varphi_{D_n}$ -linear hom,  $\nabla_m : \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{M} \otimes \omega_{Z/W}^1$  は quasi-nilpotent integrable connection で,  $\varphi_m^r | \mathcal{M}^{r+1} = p \cdot \varphi_m^{r+1}$

( $r < p-1$ ),  $\bigvee_m (M^i) \subset M^{i-1} \otimes \omega'_{Z/W}$  (Griffiths transversality) 等を満たす. (細かい定義は省略)

$MF_{unif, [0, r]}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$  の object は, 更に,  $U$  上 étale local に  $(M, M^i)$  が  $(\bigoplus_{D_m}, J_{D_m}^{[i-e]})$  ( $m > 0$ ,  $0 \leq e \leq r$ ) の有限直和であり, かつ  $\tilde{\varphi}_m: \tilde{M} \rightarrow M$  が同型であるもの. ここで,  $\tilde{M}$  は  $\bigoplus_{i < p} M^i \otimes_{\bigoplus_{D_n} \varphi} \bigoplus_{D_n}$  を

$$(i) \quad (X \otimes 1)_{i-1} = (pX \otimes 1)_i \quad (X \in M^i, i < p)$$

$$(ii) \quad (X \otimes \varphi_{D_n}^j(a))_i = (aX \otimes 1)_{i+j} \quad (X \in M^i, a \in J_{D_n}^{[j]}, i, j, i+j < p)$$

で生成される sub  $\bigoplus_{D_n}$ -module で割ったもので,  $\tilde{\varphi}_m$  は  $\bigoplus_{i < p} \varphi_m^i \otimes \text{id}$  より誘導される準同型である.  $(\cdot)_i: M^i \otimes_{\bigoplus_{D_n} \varphi} \bigoplus_{D_n} \hookrightarrow \bigoplus_{i < p} M^i \otimes_{\bigoplus_{D_n} \varphi} \bigoplus_{D_n}$  は自然な inclusion とし,  $J_{D_n}$  は  $\bigoplus_{D_n}$  の  $p$ -D-ideal とする.

$MF_{sc, [0, r]}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$  の object は, 更に,  $U$  上 étale local に, レベルが  $[0, r]$  に入る長さ有限の  $W$  上の filtered module (この圏を  $MF_{lf, [0, r]}(W)$  とする.) の逆像の "successive extension" となっているもの.

これらの圏は,  $i, \{F_{2n}\}$  のとり方によらない.

(注)  $MF_{unif, [0, r]}^\nabla(X)$  は  $A = W$  のとき, [Fa2]4(f) の  $MF_{[0, r]}^\nabla(X)$  に他ならない.

### (1.2) log syntomic 複体

$M \in MF_{big}^\nabla(X)$  に対して,  $D^+(X_{\text{et}}, \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$  (但し,  $n$  は,  $p^n M = 0$  となる  $n$ ) の object  $\mathcal{J}_X(M, r)$  ( $r \in \mathbb{Z}, r < p$ ) を次の

ように定義する. (cf. [Ka1] I §1, [Ka3] §5)

$X$  上 étale local に考えて, はりあわせで定義する.  $U \rightarrow X$ ,  $i, \{F_{2n}\}$  を (1.1) のようにとり,  $\mathcal{M}$  の  $U \wedge$  の制限を  $\mathcal{M}_U = (\mathcal{M}_U, \mathcal{M}_U^i, \varphi_{\mathcal{M}_U}^r, \nabla_{\mathcal{M}_U}) \in \text{MF}_{\text{big}}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$  とするとき,  $\mathcal{S}_{U,2}(\mathcal{M}_U, r)$  を次の複体の射の mapping fiber で定義する.

$$\begin{array}{ccccccc} \mathcal{M}_U^r & \longrightarrow & \mathcal{M}_U^r \otimes \omega_{Z/W}^1 & \longrightarrow & \mathcal{M}_U^{r-2} \otimes \omega_{Z/W}^2 & \longrightarrow & \cdots \\ \downarrow 1 - \varphi_{\mathcal{M}_U}^r & & \downarrow 1 - \varphi_{\mathcal{M}_U}^r \otimes \frac{d\varphi}{p} & & \downarrow 1 - \varphi_{\mathcal{M}_U}^{r-2} \otimes \frac{d\varphi}{p} & & \\ \mathcal{M}_U & \longrightarrow & \mathcal{M}_U \otimes \omega_{Z/W}^1 & \longrightarrow & \mathcal{M}_U \otimes \omega_{Z/W}^2 & \longrightarrow & \cdots \end{array}$$

### (1.3) $p$ 進 smooth 層

$0 \leq r \leq p-2$  を満たす整数  $r$  に対して, functor

$$\text{ID}_X(\cdot, r) : \text{MF}_{\text{unif}, [0, r]}^\nabla(X) \rightarrow ((X_n)_{\text{et}} \text{ 上の torsion smooth } \mathbb{Z}_p\text{-sheaf の圏})$$

を次のように定義する. (cf. [Fa1] II, [Fa2] 4(f))

やはり,  $X$  上 étale local に考えてはりあわせで定義する.  $U = \text{Spec } R \rightarrow X$ ,  $i, \{F_{2n}\}$  を (1.1) のようにとる. このとき,  $\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}$ -PD-ring  $B_n(\hat{R})$  で,  $\pi_1(\text{Spec } \hat{R})$  の作用, Frobenius lift を伴うものが [Fa1] II b) のようにして定義できる.  $U$  を十分小さくとっておけば, 更に log str. を与えることができる.

$$(\text{Spec } B_n(\hat{R})/J_n(\hat{R}), \log.) \hookrightarrow (\text{Spec } B_n(\hat{R}), \log.)$$

$$\downarrow$$

$$(U_n, M_n | U_n)$$

$$\downarrow$$

$$(X_n, M_n)$$

という  $\pi_1(\text{Spec } \hat{R})$  の作用する log PD-thickening を得る.

$m \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^p(X)$ ,  $p^n m = 0$  に対して,  $m$  をこの PD-thickening の上で "evaluate" することができて, それを  $m_B$  と書くことにすると, ( $U$  を十分小さくとりなせば)

$$1 - \varphi^r : m_B^r \rightarrow m_B$$

は全射で, kernel は有限となる. (これは自明ではない).

cf. [Fa1]2.4) この kernel を  $ID_U(m, r)$  とする.

$ID_X(m, r)$  は, これらの  $\pi_1(\text{Spec } \hat{R})$ -module をはりあわせて定義する. (cf. [Fa1]II9).  $X$  が  $S$  上 proper なことに注意)

#### (1.4) 比較定理 (局所版)

定理  $0 \leq s < r \leq p-2$  を満たす整数  $r, s$  をとる. すると,  $m \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^p(X)$ ,  $p^n m = 0$  に対して,  $D^+(X_{\text{et}}, \mathbb{Z}/p^n \mathbb{Z})$  における射

$$\mathcal{S}_X(m, r) \longrightarrow i_* i^* Rj_* ID_X(m, r)$$

があって,  $m \in MF_{\text{sc}, [0, s]}^p(X)$  のとき, これより同型

$$\tau_{\leq r-s-1} \mathcal{S}_X(m, r) \xrightarrow{\sim} \tau_{\leq r-s-1} i_* i^* Rj_* ID_X(m, r)$$

を得る.

(注1)  $m = \mathbb{Q}_{X_n}/W_n$  のときは,  $ID_X(m, r) \cong \mathbb{Z}/p^n \mathbb{Z}(r)$  だが,

$i^* Rj_* \mathbb{Z}/p^n \mathbb{Z}(r)$  を微分加群, 或は syntomic 複体で表すことは,

すでに good reduction のときは, Bloch, 加藤, 栗原, semi-stable reduction のときは, 兵頭, 加藤によってなされている.

(注2) 以上の議論は,  $X$  を base change したものについても, 全く同様にできて, 定理はその場合も成立する.

<証明のうしな>

射の構成  $X$  上 étale local に考えてはりあわせる.  $U = \text{Spec } R$ ,  $i, \{F_{2^n}\}$  を (1.1) のようにとる. resolution  $M_B \rightarrow M_E \otimes \omega_{Z/W}^\bullet$ ,  $M'_B \rightarrow M'_E \otimes \omega_{Z/W}^\bullet$  を構成し,  $1-\varphi^r: M'_E \otimes \omega_{Z/W}^\bullet \rightarrow M_E \otimes \omega_{Z/W}^\bullet$  の mapping fiber を  $\overline{\mathcal{S}}_{U,2}(M,r)$  とすると, 射

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{U,2}(M,r) &\rightarrow R\Gamma(G_U, \mathcal{S}_{U,2}(M,r)) \\ &\rightarrow R\Gamma(G_U, \overline{\mathcal{S}}_{U,2}(M,r)) \\ &\simeq R\Gamma(G_U, \text{Id}_U(M,r)) \end{aligned}$$

を得る. 但し,  $G_U = \pi_1(\text{Spec } \hat{R})$

同型の証明  $M_{F_{2^n}, \text{tor}, r}(W)$  の simple object は Fontaine, Laffaille により決定されていて [FL], それに伴う  $p$  進乗現は tame であるから,  $i^* R^q j_* \text{Id}_X(M,r)$  の計算は base change して,  $i^* R^q j_* \mathbb{Z}/p\mathbb{Z}(q)$  の計算に帰着され, この場合は兵頭氏がすでに計算している [H]. syntomic 複体のうは base change しても簡単にならないので,  $M$  が simple object の逆像の場合に,  $H^q(\mathcal{S}_X(M,r))$  を計算する. (極めてややこしい).  $M = \mathcal{O}_{X/W}$  の場合, 栗原氏がすでにやっている [Ku].) 射でちゃんとうつつ

ているかどうかは, "symbol map" を用いて調べる. //

## §2. log crystalline cohomology と $p$ 進 étale cohomology

$A$  の素元  $\pi$  を 1 つ固定する. これより, 埋めこみ

$$\begin{array}{ccc} (S, N) & \xrightarrow{is} & (\mathrm{Spec} W[N], \text{can. log.}) \\ & \searrow & \downarrow \text{log. smooth} \\ & & \mathrm{Spec} W \end{array}$$

が  $\mathbb{N} \rightarrow A; n \mapsto \pi^n$  より定まり, Frobenius lifts

$$F_n: (\mathrm{Spec} W_n[N], \text{can. log.}) \longrightarrow (\mathrm{Spec} W_n[N], \text{can. log.})$$

が  $\mathbb{N}$  の  $p$  倍写像で定まる. すると, (1.1) のようにして, 圏

$$\mathrm{MF}_{\mathrm{big}}^{\nabla}(S; is, \{F_n\}) \text{ が定義できる. } (S_n, N_n) \hookrightarrow (\mathrm{Spec} W_n[N], \text{can. log.})$$

の PD-envelope を  $(E_n, M_{E_n})$  とする.

### (2.1) $p$ 進表現

$0 \leq r \leq p-2$  をみたす整数  $r$  に対し, functor

$$\begin{aligned} \mathrm{ID}(\cdot, r): C^+(\mathrm{MF}_{\mathrm{big}}^{\nabla}(S; is, \{F_n\})) \\ \longrightarrow C^+(\text{discrete } \mathbb{Z}_p\text{-Gal}(\bar{K}/K)\text{-torsion 加群の圏}) \end{aligned}$$

を次のように定義する. まず,  $\Gamma(E_n, \mathcal{O}_{E_n})$ -algebra  $P_n$  ( $n \geq 1$ )

$$P_n = H^0((\bar{S}_n/E_n)_{\mathrm{crys}}^{\log}, \mathcal{O}_{\bar{S}_n/E_n})$$

で定義する. ここで,  $\bar{S}$  は  $\bar{K}$  の整数環  $\bar{A}$  の Spec とする.  $P_n$  は PD-ring で  $\mathrm{Gal}(\bar{K}/K)$  の作用, Frobenius lift をもつ.

$$M' \in C^+(\mathrm{MF}_{\mathrm{big}}^{\nabla}(S; is, \{F_n\})). \text{ 簡単のため } p^n M' = 0 \text{ (} n \gg 0 \text{)}$$

とする。このとき,  $ID(M, r)$  を次の複体の射の mapping fiber で定義する。(  $N, \varphi^r$  等の定義は省略する。)

$$1 - \varphi^r : F^r(P_n \otimes M^{\bullet})^{N=0} \rightarrow (P_n \otimes M^{\bullet})^{N=0}$$

(注)  $M \in MF_{unif, [0,1]}^{\nabla}(S; i_S, \{F_n\})$  のとき,  $ID(M, r)$  は (1.3) の  $ID_S(M, r)$  と quasi-isomorphic となる。

## (2.2) log crystalline cohomology

$M \in MF_{big}^{\nabla}(X)$  の log crystalline cohomology

$$R\Gamma_{\log-crys}(X/E, M)$$

を  $MF_{big}^{\nabla}(S; i_S, \{F_n\})$  における複体として次のように定義する。

(up to canonical quasi-isomorphism で決まる。)

$U = \text{Spec } R \rightarrow X : \text{étale } (U_S \neq \emptyset)$  に対して

$$(U, M|_U) \xhookrightarrow{i} (Z, M_Z)$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \curvearrowright & \downarrow \text{ log. smooth} \end{array}$$

$$(S, N) \hookrightarrow (\text{Spec } W[[N]], \text{can. log.})$$

という埋め込みと,  $(\text{Spec } W[[N]], \text{can. log.})$  の Frobenius と compatible

に Frobenius lifts  $\{F_{Z_n} : (Z_n, M_{Z_n}) \rightarrow (Z_n, M_{Z_n})\}$  がとれているとす

る。すると,  $M$  の  $U$  への制限を  $M_U \in MF_{big}^{\nabla}(U; i, \{F_{Z_n}\})$  とす

るとき,  $M_U$  の de Rham complex  $M_U \otimes \omega_{Z/W}^{\bullet}[\omega]$  の  $\Gamma(D_n, \cdot)$

に  $MF_{big}^{\nabla}(S; i_S, \{F_n\})$  の複体としての構造が入る。  $R\Gamma_{\log-crys}(X/E, M)$

をこれらのほりあわせ (Čech complex) で定義する。

(注)  $p^n m = 0$  とすると, derived category において

$$R\Gamma_{\log\text{-crys}}(X/E, m) \cong R\Gamma((E_n)_{\text{et}}, (Rf_{n, \text{crys}}^* m)_{E_n})$$

但し,  $f_{n, \text{crys}} : (X_n/W_n)_{\text{crys}}^{\log \sim} \rightarrow (S_n/W_n)_{\text{crys}}^{\log \sim}$ .

### (2.3) log syntomic 複体 (その2)

$\bar{X} = X \times_S \bar{S}$  ( $\bar{S}$  は  $\bar{K}$  の整数環  $\bar{A}$  の Spec) とする.  $r$  を  $0 \leq r \leq p-2$  を満たす整数とする.  $m \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\triangleright}(X)$  に対して,  $D^+(\bar{X}_{\text{et}}, \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$  (但し,  $n$  は  $p^n m = 0$  となる整数) の object  $\mathcal{L}_{\bar{X}}(m, r)$  を  $\mathcal{L}_{X'}(m', r)$  の  $\bar{X}_{\text{et}}$  への pull-back の帰納極限で定義する. ここに,  $S' = \text{Spec } A'$ ,  $X' = X \times_S S'$ ,  $m'$  は  $m$  の  $MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\triangleright}(X')$  への pull-back で,  $A'$  は  $\bar{K}/K$  の有限次部分拡大の整数環を走る.

(注)  $\mathcal{L}_{X'}(m', r)$  は derived category の object であるから, 実際には, これらを complex で表しておいて極限をとる必要がある.

### (2.4) log syntomic cohomology と log crystalline cohomology

定理  $m \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\triangleright}(X)$ ,  $p^n m = 0$  に対して,  $D^+(\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$  における Galois equivariant isomorphism

$$\text{ID}(R\Gamma_{\log\text{-crys}}(X/E, m), r) \cong R\Gamma_{\text{et}}(\bar{X}, \mathcal{L}_{\bar{X}}(m, r))$$

がある.

(注)  $X$  が  $W$  上 smooth,  $\mathcal{M} = \mathcal{O}_{X_n/W_n}$  のとき, 対応する結果は, すでに [FM] III §1, [Ka1] II §4 にみられる.

<証明の方針> 両辺を de Rham complex を用いて具体的に求めし,  $P_n = \varinjlim H^0((S'_n/E_n)^{\log}_{\text{crys}}, \mathcal{O}_{S'_n/E_n})$  ( $S'$  は  $K/K$  の有限次部分拡大の整数環の Spec を走る.) を用いる. //

### (2.5) 比較定理 (大域版)

(1.4), (2.4) をあわせて, 次の比較定理を得る.

定理  $s, r$  と  $0 \leq s < r \leq p-2$  をみたす整数とする.

$\mathcal{M} \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\nabla}(X)$ ,  $p^n \mathcal{M} = 0$  に対して, Galois equivariant な  $D^+(\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$  における射

$$\text{ID}(\text{R}\Gamma_{\log\text{-crys}}(X/E, \mathcal{M}), r) \rightarrow \text{R}\Gamma_{\text{et}}(X_{\bar{q}}, \text{ID}_X(\mathcal{M}, r))$$

が存在して,  $\mathcal{M}$  が  $MF_{\text{sc}, [0, s]}^{\nabla}(X)$  の object のとき, 同型

$$\tau_{\leq r-s-1} \text{ID}(\text{R}\Gamma_{\log\text{-crys}}(X/E, \mathcal{M}), r) \xrightarrow{\sim} \tau_{\leq r-s-1} \text{R}\Gamma_{\text{et}}(X_{\bar{q}}, \text{ID}_X(\mathcal{M}, r))$$

を得る.

(注)  $A = W$ ,  $X$  が proper semi-stable curve のとき, G. Faltings は次の事実を示している [Fa3] 4.3.  $\mathcal{M} \in MF_{\text{unif}, [0, p-3]}^{\nabla}(X)$  に対して,  $W$  上 smooth な scheme  $Y$  への射  $X \rightarrow Y$  があって,  $\mathcal{M}$  が  $MF_{[0, p-3]}^{\nabla}(Y)$  ([Fa1] II) のある object  $\mathcal{M}'$  の pull-back になっているとするとき, Galois equivariant な同型

$$ID(R\Gamma_{\log\text{-crys}}(X/E, \mathcal{M}), p-2) \cong R\Gamma_{\text{et}}(X_{\bar{\eta}}, \mathbb{L}(p-2))$$

がある。ここに、 $\mathbb{L}$  は  $ID(\mathcal{M}')$  ([Fa1]II) の dual の  $X_{\bar{\eta}} \wedge$  の pull-back であるとする。

### 参考文献

[Fa1] Faltings, G., Crystalline cohomology and  $p$ -adic Galois-representations, Algebraic analysis, geometry, and number theory, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1989, pp. 25-80.

[Fa2] Faltings, G.,  $F$ -isocrystals on open varieties. Results and conjectures, Grothendieck's 60 th birthday Festschrift, Birkhäuser, Boston, 1990, pp. 219-248.

[Fa3] Faltings, G., Crystalline cohomology of semi-stable curves, and  $p$ -adic Galois representations, J. Alg. Geom. 1 (1992), 61-82.

[FL] Fontaine, J.-M. and Laffaille, G., Constructions de représentations  $p$ -adiques, Ann. Sci. Éc. Norm. Sup. 15 (1982), 547-608.

[FM] Fontaine, J.-M. and Messing, W.,  $p$ -adic periods and  $p$ -adic étale cohomology, Contemporary Math. 67 (1987), 179-207.

[H] Hyodo, O., A note on  $p$ -adic étale cohomology in the semi-stable reduction case, Inv. Math. 91 (1988), 543-557.

[Ka1] Kato, K., On  $p$ -adic vanishing cycles (Application of ideas of Fontaine-Messing), Advanced studies in Pure Math. 10 (1987),

207-251.

[Ka2] Kato, K., Logarithmic structures of Fontaine-Illusie, Algebraic analysis, geometry, and number theory, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1989, pp. 191-224.

[Ka3] Kato, K., Semi-stable reduction and  $p$ -adic étale cohomology, preprint.

[Ka4] Kato, K., Semi-stable reduction and crystalline cohomology with logarithmic poles, preprint.

[Ku] Kurihara, M., A note on  $p$ -adic étale cohomology, Proc. Japan. Academy 63 (1987), 275-278.

[T1] Tsuji, T., Syntomic complexes and  $p$ -adic vanishing cycles, preprint.

[T2] Tsuji, T., Log crystalline cohomology and log syntomic cohomology, preprint.