

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・教理 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_{crys} 予想, C_{st} 予想) が A. Grothendieck, J. Tate 以来, J.-M. Fontaine, W. Messing, S. Bloch, 加藤和也, G. Faltings, 兵頭治, 都築暢夫らによつて研究され, 現在では C_{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_{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_{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 が絶対不分離なときは, 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。

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

(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

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

(各 square は Cartesian.)

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

(1.1) log connection 付き filtered module.

□ $\text{MF}_{\text{big}}^\nabla(X) \supset \text{MF}_{\text{unif}, [0, r]}^\nabla(X) \supset \text{MF}_{\text{sc}, [0, r]}^\nabla(X)$ 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

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

Frobenius lifts

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

$\text{MF}_{\text{big}}^\nabla(U; i, \{F_{Z_n}\})$ 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 φ_{D_n} -linear hom, $\nabla_m : \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{M} \otimes \omega_{Z/W}$ は quasi-nilpotent integrable connection で, $\varphi_m^r | \mathcal{M}^{r+1} = p \cdot \varphi_m^{r+1}$

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

$MF_{\text{unif}, [0, r]}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$ の object は, 更に, U 上 étale local に (M, M^i) が $(\mathcal{O}_{D_m}, J_{D_m}^{[i-e]})$ ($m > 0, 0 \leq e \leq r$) 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

$$\bigoplus_{i < p} M^i \otimes_{\mathcal{O}_{D_n}} \mathcal{O}_{D_n} \text{ を}$$

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

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

で生成される sub \mathcal{O}_{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. $(\cdot)_i: M^i \otimes_{\mathcal{O}_{D_n}} \mathcal{O}_{D_n} \hookrightarrow \bigoplus_{i < p} M^i \otimes_{\mathcal{O}_{D_n}} \mathcal{O}_{D_n}$ は自然な inclusion とし, J_{D_n} は \mathcal{O}_{D_n} の p -ideal とする.

$MF_{\text{sc}, [0, r]}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$ 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 $MF_{\text{lf}, [0, r]}(W)$ 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) $MF_{\text{unif}, [0, r]}^\nabla(X)$ 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

$M \in MF_{\text{big}}^\nabla(X)$ に対して, $D^+(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$ (但し, n は, $p^n M = 0$ となる n) の object $\mathcal{S}_X(M, r)$ ($r \in \mathbb{Z}, r < p$) 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 $\mathcal{M}_U = (\mathcal{M}_U, \mathcal{M}_U^i, \varphi_{\mathcal{M}_U}^r, \nabla_{\mathcal{M}_U}) \in MF_{\text{big}}^\nabla(U; i, \{F_{2n}\})$ とするとき, $\mathcal{S}_{U, Z}(\mathcal{M}_U, r)$ を次の複体の射の mapping fiber で定義する.

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

(1.3) p 進 smooth 層

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

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

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.

$$\begin{array}{ccc} (\text{Spec } B_n(\hat{R})/J_n(\hat{R}), \log.) & \hookrightarrow & (\text{Spec } B_n(\hat{R}), \log.) \\ \downarrow & & \\ (U_n, \text{Mnl } U_n) & & \\ \downarrow & & \\ (X_n, M_n) & & \end{array}$$

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

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

$$1 - \varphi^r : \mathcal{M}_B^r \rightarrow \mathcal{M}_B$$

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 $ID_U(\mathcal{M}, r)$ とする.

$ID_X(\mathcal{M}, r)$ 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] II 9). 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, $\mathcal{M} \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^p(X)$, $p^n \mathcal{M} = 0$ に対して, $D^+(X_{\text{ét}}, \mathbb{Z}/p^n \mathbb{Z})$ における射

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

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

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

を得る.

(注1) $\mathcal{M} = \mathcal{O}_{X_n}/W_n$ のときは, $ID_X(\mathcal{M}, r) \cong \mathbb{Z}/p^n \mathbb{Z}(r)$ 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, 全く同様にてきて, 定理はその場合も成立する.

<証明の方針>

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 $\overline{S_{U,2}}(M,r)$ とすると, 射

$$\begin{aligned} S_{U,2}(M,r) &\rightarrow R\Gamma(G_U, S_{U,2}(M,r)) \\ &\rightarrow R\Gamma(G_U, \overline{S_{U,2}}(M,r)) \\ &\simeq R\Gamma(G_U, \text{ID}_U(M,r)) \end{aligned}$$

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

同型の証明 $M_{\text{Fib}, [0,r]}(W)$ の simple object は Fontaine, Laffaille により決定されていて [FL], それに伴う p 進表現は tame であるから, $i^* R^j i_* \text{ID}_X(M,r)$ の計算は base change して, $i^* R^j i_* \mathbb{Z}/p\mathbb{Z}(\varphi)$ 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 複体の方は 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, $H^j(S_X(M,r))$ 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

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 π を 1 つ固定する. これより, 埋めこみ

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

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

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

が \mathbb{N} の p 倍写像で定まる. すると, (1.1) のようにして, $\text{MF}_{\text{big}}^\nabla(S; is, \{F_n\})$ が定義できる. $(S_n, N_n) \hookrightarrow (\text{Spec } W_n[\mathbb{N}], \text{can. log.})$ 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

$$D(\cdot, r): C^+(\text{MF}_{\text{big}}^\nabla(S; is, \{F_n\}))$$

$$\rightarrow C^+(\text{discrete } \mathbb{Z}_p\text{-Gal}(\bar{K}/K)\text{-torsion 加群の圏})$$

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

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

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 $\text{Gal}(\bar{K}/K)$ の作用, Frobenius lift をもつ.

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

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, φ^r 等の定義は省略する。)

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

(注) $M \in MF_{\text{unif}, [0,1]}^{\vee}(S; i_S, \{F_n\})$ 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

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

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

を $MF_{\text{big}}^{\vee}(S; i_S, \{F_n\})$ 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

$$\begin{array}{ccc} (U, \mathcal{M}|_U) & \xrightarrow{i} & (Z, \mathcal{M}_Z) \\ \downarrow & \curvearrowright & \downarrow \text{log. smooth} \\ (S, \mathcal{N}) & \xrightarrow{\quad} & (\text{Spec } W[[\mathbb{N}]], \text{can. log.}) \end{array}$$

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

に Frobenius lifts $\{F_{Z_n} : (Z_n, \mathcal{M}_{Z_n}) \rightarrow (Z_n, \mathcal{M}_{Z_n})\}$ がとれているとする。

すると、 \mathcal{M} の U への制限を $\mathcal{M}_U \in MF_{\text{big}}^{\vee}(U; i, \{F_{Z_n}\})$ とする

とき、 \mathcal{M}_U の de Rham complex $\mathcal{M}_U \otimes \omega_{Z/W[[\mathbb{N}]}}$ の $\Gamma(D_n, \cdot)$

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

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

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

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. $\mathcal{M} \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\nabla}(X)$ 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 $\mathcal{S}_{\bar{X}}(\mathcal{M}, r)$ を $\mathcal{S}_{X'}(\mathcal{M}', r)$ の \bar{X}_{et} への pull-back の帰納極限で定義する. ここに, $S' = \text{Spec } A'$, $X' = X \times_S S'$, \mathcal{M}' は \mathcal{M} の $MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\nabla}(X')$ 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) $\mathcal{S}_{X'}(\mathcal{M}', r)$ 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 $\mathcal{M} \in MF_{\text{unif}, [0, r]}^{\nabla}(X)$, $p^n m = 0$ に対して, $D^+(\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})$ における Galois equivariant isomorphism

$$D(R\Gamma^{\log\text{-crys}}(X/E, \mathcal{M}), r) \cong R\Gamma_{\text{et}}(\bar{X}, \mathcal{S}_{\bar{X}}(\mathcal{M}, r))$$

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 を用いて具体的に集めし, $P_n = \varinjlim H^0((S'_n/E_n)_{\text{crys}}^{\log}, \mathcal{O}_{S'_n/E_n})$ (S' は \bar{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, t と $0 \leq s < t \leq p-2$ 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

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

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

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

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

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

がある。ここに、 \mathbb{L} は $D(\mathcal{M}')$ ([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 60th 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.