

## ある種の双曲型 Cauchy 問題の解の特異性について

筑波大数学系 若林誠一郎 (Seiichiro Wakabayashi)

1. 序 双曲型方程式の解の特異性を記述する手段として、Hamilton flow (null bicharacteristic flow) が重要な役割を果たしてきたが、特性根が滑らかでないとき、Hamilton flow をもはや定義することできない。一般の双曲型方程式の解の特異性を記述するために、Hamilton flow を一般化・拡張する必要がある。ここでは、Hamilton flow の定義を拡張して、 $C^\infty$  のカテゴリーである種の仮定の下に (包括的な場合を含む)、この一般化された Hamilton flow を用いて、解の波面集合が上から評価されることをしめす (定理 1 参)。また、Gevrey クラス (特性根の重複度に依存して異なる) において、係数が実解析的であると仮定して、Gevrey クラスでの解の特異性が一般化された Hamilton flow によって評価されることをしめす (定理 2 参、講演における予想が正しいことをしめす)。

2. "flow"の定義および結果  $P(x, \xi) \in C^\infty$  係数をもつと  
 $= (\xi_1, \dots, \xi_n)$  の  $m$  次多項式とし.

$P(x, \xi) = \sum_{j=1}^m P_j(x, \xi)$ ,  $P_j(x, \xi)$ :  $j$  次齊次多項式  
 とかく。ここで、 $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ ,  $\xi \overset{\text{dual}}{\leftrightarrow} x$  である。次  
 の Cauchy 問題を考えよう:

$$(CP) \quad \begin{cases} P(x, D) u(x) = f(x) \\ \text{supp } u \subset \{x_1 \geq 0\} \end{cases}$$

ここで、 $f \in \mathcal{D}'$ ,  $\text{supp } f \subset \{x_1 \geq 0\}$  である。また、 $C^\infty$  を法と  
 して Cauchy 問題

$$(CP)' \quad \begin{cases} P(x, D) u(x) \equiv f(x) \pmod{C^\infty} \\ \text{sing supp } u \subset \{x_1 \geq 0\} \end{cases}$$

を考えよう。ここで、 $f \in \mathcal{D}'$ ,  $\text{sing supp } f \subset \{x_1 \geq 0\}$  であ  
 る。まず、

(A-1)  $P_m(x, \xi)$  は各  $x \in \mathbb{R}^n$  に対して、 $\nu = (1, 0, \dots, 0) \in \mathbb{R}^n$  に関  
 して、双曲型多項式である。すなわち、

$P_m(x, \xi - i\tau\nu) \neq 0$  for  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $\xi \in \mathbb{R}^n$ ,  $\tau > 0$   
 を仮定する。

"flow"の定義  $z = (x, \xi) \in T^*\mathbb{R}^n$  に対して、

$$P_m(z + s\delta z) = s^\mu (P_{mz}(\delta z) + o(1)) \quad \text{as } s \rightarrow 0$$

$$P_{mz}(\delta z) \neq 0 \quad \text{in } \delta z \in T_z(T^*\mathbb{R}^n)$$

によつて、 $z$  における  $P_m$  の localization  $P_{mz}(\delta z)$  を定義する(

Atiyah-Bott-Gårding [1] の定義の一般化。

Lemma 1  $P_m(z)$  は  $z$  の  $m$  次斉次多項式で,  $(0, \nu) \in \mathbb{R}^{2n}$  に関して双曲型多項式である。

証明は, Ivrii-Petrov [10], Hörmander [6], Bronshtein [2] より明らかであろう。故に,  $z \in T^*\mathbb{R}^n$  に対して,

$$\Gamma_z \stackrel{\text{def}}{=} \Gamma(P_m(z), (0, \nu)) \subset T_z(T^*\mathbb{R}^n)$$

が定義できる。ここで,

$\Gamma(P_m(z), (0, \nu)) = \{ \delta z; P_m(z)(\delta z) \neq 0 \}$  の  $(0, \nu)$  を含む連結成分である。

$$\Gamma_z^\sigma \stackrel{\text{def}}{=} \{ \delta z \in T_z(T^*\mathbb{R}^n); \sigma(\delta z, \delta z') \geq 0 \text{ for } \forall \delta z' \in \Gamma_z \}$$

とおく。ここで,  $\sigma(\delta z, \delta z') = \delta x \cdot \delta \xi' - \delta x' \cdot \delta \xi$ ,  $\delta z = (\delta x, \delta \xi)$ ,  $\delta z' = (\delta x', \delta \xi')$  である。

$K_z^\pm \stackrel{\text{def}}{=} \{ z(t) \in T^*\mathbb{R}^n; \{ z(t) \} \text{ は Lipschitz 連続な曲線で}$

$$\frac{d}{dt} z(t) \in \Gamma_{z(t)}^\sigma \text{ (a.e. } t), z(0) = z, \pm t \geq 0 \}$$

による。"flow" を定義する。ここで,  $A_z \stackrel{\text{def}}{=} \{ \delta z; P_m(z)(\delta z) = 0 \}$

において,  $K_z^\pm$  の定義における  $\Gamma_{z(t)}^\sigma$  を  $\Gamma_{z(t)}^\sigma \cap A_{z(t)}$  でおきかえても同じものを定義する。

$K_z^\pm$  の性質 (i)  $P_m(z) \neq 0$  ならば,  $K_z^\pm = \{ z \}$  である ( $\because$

$$P_m(z)(\delta z) \equiv P_m(z) \text{ より } \Gamma_z^\sigma = \{ 0 \} \text{ である。}$$

(ii)  $z \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  ならば,  $K_z^\pm \subset T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  であり,  $z = (x, 0)$

ならば,  $K_{(x,0)}^\pm = K_x^\pm \times \{ 0 \}$  とかける ( $\because P_m(x,0)(\delta x, \delta \xi) = P_m(x, \delta \xi)$ )

より.  $\Gamma_{(x,0)}^\sigma = \Gamma(P_m(x, \cdot), \nu)_{\lambda}^{(x|0)}$  となる. ここで.

$$\Gamma^* = \{ \delta x; \delta x \cdot \delta \xi \geq 0 \text{ for } \forall \delta \xi \in \Gamma \}$$

である).  $K_x^\pm$  は解の台 (support) を記述するものと考えられる (狭義双曲型作用素に対しては, Duistermaat [4] 参).

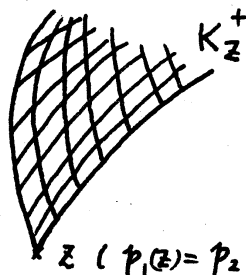
(iii)  $P_m$  が狭義双曲型 のとき.

$$K_z^\pm = \text{' } z \text{ から } \pm x_1 \text{ が増加する方向に } P_m \text{ の零特性帯}$$

$$\text{ if } z \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0, P_m(z) = 0$$

(iv)  $P_m$  が重複度一定のとき.  $P_m$  に対する  $K_z^\pm$  は  $P_m$  よりつくられる狭義双曲型多項式に対する  $K_z^\pm$  と一致する.

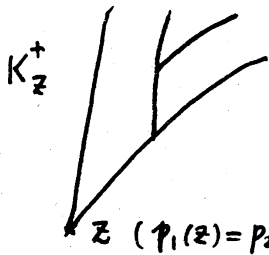
(v)  $P_2(z) = p_1(z)p_2(z)$ ,  $\{p_1, p_2\} = ap_1 + bp_2$  ( $p_1, p_2$  は  $z$  について 1 次正斉次) のとき. 包合的すなわち,  $H_{p_1}, H_{p_2}$  ( $\sum \xi_j \frac{\partial}{\partial \xi_j}$ )



が一次独立であると仮定すれば左図のようになる。そこから出る  $p_1$  の零特性帯上  $p_2 = 0$  より,  $p_1$  の零特性帯上の各点から  $p_2$  の零特性帯がでて, それらの

broken bichar. の全体が  $K_z^+$  である (2次元曲面に含まれる). 一次独立性を仮定しないときは, 上のようなものの射影であって,  $p_1, p_2$  の零特性帯が一点になる場合も許せば, 上のよう記述される.

(vi)  $P_2(z) = p_1(z)p_2(z)$ ,  $\{p_1, p_2\} \neq 0$  のとき,  $z$  が  $p_1(z) = p_2(z) = 0$  を満たすならば,  $z$  からでる  $p_1$  の零特性帯と  $p_2$  の零特性帯の



和集合が  $z$  の近傍で  $K_2^+$  と一致する。  $P_1$  の零特性帯  $P_2(z)$  が零になる点があれば、そこから得る  $P_2$  の零特性帯も  $K_2^+$  に含まれる。すなわち、  $K_2^+$  は  $z$  から得る broken null bichar. の  $x_1$  が増加する方向のもの全体である。

(vii)  $P_m(x, \xi) \equiv P_m(\xi)$  (定係数) のとき、

$$K_{(x, \xi)}^{\pm} = (\{x\} \pm \Gamma(P_{m, \xi}, \nu)^*) \times \{\xi\}$$

である。

$C^\infty$  のカテゴリで解の特異性を考えるときには、次の仮定をおく：

(A-2) 任意の  $(x^0, \xi^0) \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  に対して、斉次正準変換  $\chi: \tilde{\Gamma} \rightarrow \Gamma$  ( $\tilde{\Gamma}: (0, \eta^0) \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  の錐近傍,  $\Gamma: (x^0, \xi^0) \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  の錐近傍) が存在して、

$$P_m \circ \chi(y, \eta) = e(y, \eta) p(\eta), \quad (y, \eta) \in \tilde{\Gamma}$$

$$e(y, \eta) \neq 0 \quad \text{in } \tilde{\Gamma}$$

となる。ここで、  $p(\eta)$  は (斉次) 多項式である。

仮定(A-2)より、  $\chi, \chi^{-1}$  にそれぞれ対応する Fourier 積分作用素  $F_1, F_2$  が存在して ( $F_1, F_2$  はそれぞれ  $(0, \eta^0), (x^0, \xi^0)$  で elliptic)。

$$'F_2 P F_1 \text{ のシンボル}' = p(\eta) - e(y, \eta)$$

in a conic nbd of  $(0, \eta^0)$  (with "at  $(0, \eta^0)$ " とかく)

ここで、 $p(\eta)$  が主シンボルになるように  $F_1, F_2$  がとられている。

(A-3) (Levi条件) 各  $(x^0, \xi^0) \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  に対して、今定義された  $p(\eta)$ ,  $\mathcal{E}(\eta, \eta)$  は、

$$|\mathcal{E}(\eta, \eta)| \leq C |p(\eta - i\tilde{\nu})| \quad \text{at } (0, \eta^0), \quad |\eta| \geq C_0$$

をみたす。ここで、 $\tilde{\nu} = \frac{\partial \eta}{\partial \xi}(x^0, \xi^0) \neq 0$  ( $\neq 0$  となる),  $\chi^{-1}(x, \xi) = (y(x, \xi), \eta(x, \xi))$  である。

(A-3) は

$$|\mathcal{E}(\eta, \eta)| \leq C \tilde{p}(\eta) \quad \text{at } (0, \eta^0)$$

に同値である(仮定(A-1)の下で)。ここで、 $\tilde{p}(\eta) = \left( \sum_{\alpha} \left| \frac{\partial p}{\partial \eta^{\alpha}}(\eta) \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$  である。

(A-4) 各  $z \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  に対して、 $K_z^+ \cap \{x_1 \geq 0\}$  は  $\Gamma > 1$  のトである。

定理 1 (A-1) - (A-4) の仮定の下で、 $u$  が  $(CP)'$  の解ならば、

$$WF(u) \subset \{z; z \in K_z^+, \text{ for some } z' \in WF(f)\} \equiv \text{supp } WF(f)$$

である。

注意 (A-2) は非常にきつい仮定であるが、包合的である場合および主部が定係数である場合にはみえされる。一般には (A-3) は  $\chi$  の選ぶ方に依存する条件だが、Levi条件の自然な拡張にはなっている(定理 3, 4 参)。

\* によって  $\mathcal{D}'(K)$  または  $\mathcal{D}'(K)$  を表わすことにする ( $1 < k < \infty$ )。  $\mathcal{D}'^*$  によってコンパクトな台をもつ Gevrey 族を、  $\mathcal{D}'^*$  によって ultradistribution の空間を表わすことにする (Komatsu [11] 参)。  $WF_*(f)$  によって超局所的に  $f$  が  $\mathcal{D}'^*$  (or  $\mathcal{E}'^*$ ) に属さない  $T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  の閉部分集合を表わすことにする (例えば, Wakabayashi [18] 参)

定理 2  $P(x, \xi)$  の係数が実解析的であつ、仮定 (A-1)

および 仮定

(A-4)' 各  $x \in \mathbb{R}^n$  に対して、  $K_x^- \cap \{x_1 \geq 0\}$  がコンパクトである。

が満たされているとする。  $P_m(x, \xi, \xi') = 0$  の  $\xi$  についての根の重複度が高々  $r$  ( $\geq 2$ ) であるとする。 そのとき、  $1 < k < \frac{r}{r-1}$  に対して、  $f \in \mathcal{D}'^*$  ならば、 (CP) の解  $u$  に対して、

$$WF_*(u) \subset \emptyset \cup WF_*(f)$$

が成立する。

注意 Gevrey クラスでの適切性は, Ivrii [8], Bronshtein [3], Trepreau [17] によって認められている。 定理 2 においては、  $P_m(x, \xi)$  の係数が実解析的であることを仮定すればよく、低階の係数について実解析的であると仮定する必要はない。 また、特性根が滑らかならば、  $P_m(x, \xi)$  の係数が実解析的である必要はない。

系 定理2の仮定の下で、

$\text{supp } u \subset \{x \in \mathbb{R}^n; x \in K_y^+ \text{ for some } y \in \text{supp } f\}$   
である。

注意  $P(x, \xi)$ の係数が実解析的である必要はないが、そのときは、定理2の証明と同じようにして証明する必要がある。

3. 定理1に対する注意および例 狭義双曲型作用素 (real principal type) に対しては、Hörmander [7]によつて定理1が示された。重複度一定の場合には Chazarain, 包合的な場合は(例1参), 森本, Lascar, Noshay (特に Noshay)によつて示された([20], [14], [12], [16])。non-involutive に対しては, Ivrii, Hange, Melroseによつて定理1は証明された([9], [5], [13])。その他多くの研究があり、結果としては定理1をそれぞれの場合に証明したことになるように思われる。

定理1の仮定(A-3)は、簡単な場合には、斉次正準変換  $\chi$ の選ぶ方に依存しないことがわかる。

定理3  $P_m$ の特性根の重複度が高々2であるとする。そのとき

$$(A-3) \text{ at } (x^0, \xi^0) \iff \left| \frac{P_{m-1}'(x, \xi)}{P_m(x, \xi - i\nu)} \right| \leq C \text{ at } (x^0, \xi^0)$$



ここで

$$P'_{m-1}(x, \xi) = P_{m-1}(x, \xi) + \frac{i}{2} \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial \xi_j} P_m(x, \xi) \quad (\text{subprincipal symbol})$$

である。

定理4  $(x^0, \xi^0) \in T^*\mathbb{R}^n \setminus 0$  とし

$$P_m(x, \xi) = e(x, \xi) \prod_{j=1}^s (\xi_j - \lambda_j(x, \xi'))^{\nu_j} \quad \text{at } (x^0, \xi^0)$$

なる形であるとする。ここで  $\lambda_j(x, \xi') \in C^\infty(\mathbb{R}^n \times (\mathbb{R}^{n-1} \setminus \{0\}))$ ,

$e(x, \xi) \in C^\infty(\mathbb{R}^n \times (\mathbb{R}^n \setminus \{0\}))$  かつ  $e(x^0, \xi^0) \neq 0$  である。また

$\nu_j = \xi_j - \lambda_j(x, \xi')$  において  $\{p_j, p_k\} = 0$  ( $j, k = 1, \dots, s$ )

かつ  $H_{p_1}, \dots, H_{p_s}, \sum \xi_k \frac{\partial}{\partial \xi_k}$  が1次独立であると仮定する(

すなわち、包合的であると仮定する)。そのとき

(A-3) at  $(x^0, \xi^0)$

$\iff$

$$P(x, D) = e(x, D) p_1(x, D)^{\nu_1} \cdots p_s(x, D)^{\nu_s}$$

$$+ \sum_{\mu < \nu} a_\mu(x, D) p_1(x, D)^{\mu_1} \cdots p_s(x, D)^{\mu_s} \quad \text{at } (x^0, \xi^0)$$

である。ここで  $a_\mu(x, D) \in L^{m-r}$  かつ  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_s)$ ,

$\nu = (\nu_1, \dots, \nu_s)$ ,  $\nu_1 + \dots + \nu_s = r$  である。

定理5  $w = (w_1, \dots, w_l)$  とし、 $(n+l)$ 変数の偏微分作用素  $\tilde{P}(x, w, D_x, D_w)$  が存在して

$$\tilde{P}(x, w, D_x, D_w) u(x) = P(x, D_x) u(x) \quad (\forall u \in \mathcal{D}'(\mathbb{R}^n))$$

(i.e.  $\tilde{P}(x, w, \xi, 0) = P(x, \xi)$  for  $\forall x, \forall w, \forall \xi$ ) かつ、 $\tilde{P}$  が

(A-1)-(A-4) を満たすならば、定理1が成立する。

例 1 (Nosmas [16])

$$P(x, D) = p_1(x, D)^{\nu_1} \cdots p_s(x, D)^{\nu_s} \\ + \sum_{\mu < \nu} a_\mu(x, D) p_1(x, D)^{\mu_1} \cdots p_s(x, D)^{\mu_s}, \quad a_\mu(x, D) \in L^0$$

$$p_j(x, \xi) \sim \xi_j - \lambda_j(x, \xi'), \quad \lambda_j(x, \xi') \in C^\infty(\mathbb{R}^n \times (\mathbb{R}^{n-1} \setminus \{0\}))$$

$\lambda_j(x, \xi')$  は  $\xi'$  について 1 次斉次

$$\{p_j, p_k\} = a_{jk} p_j + b_{jk} p_k$$

$a_{jk}, b_{jk}$  は  $\xi' \neq 0$  に対して滑らか

ならば、定理 1 が成立する。実際  $\tilde{p}$  を適当につくると定理 5 が適用できる。

例 2  $n=3$ .

$$P(x, \xi) = \xi_1^3 + 3\xi_1^2 \xi_3 - 3x_2^2(\xi_2^2 + \xi_3^2)(\xi_1 + \xi_3) + a(x)\xi_1^2 \\ + x_2^2(b(x)\xi_2^2 + c(x)\xi_3^2) + d(x)\xi_1 \xi_3 + x_2(e(x)\xi_1 \xi_2 + f(x)\xi_2 \xi_3)$$

に対して定理 5 が適用できる。 $\xi_1^0 = x_2^0 = \xi_3^0 = 0$  なる  $(x^0, \xi^0)$

に対して、特性根は 3 重根となる(滑らかでない)。そのとき、

$$\bigcup_{\lambda > 0} K_{(x^0, \lambda \xi^0)}^+ = \{(x, \xi); 0 \leq x_3 - x_3^0 \leq 3(x_1 - x_1^0), \\ x_2 = 0, \xi_1 = 0, \xi_2 = \lambda \xi_2^0, \xi_3 = 0 \text{ and } \lambda > 0\}$$

である (conical refraction)。

定理 1 の証明については、Wakabayashi [19] を参照されたい。

4. 定理 2 に対する注意

定理6  $P(x, \xi)$  の係数が実解析的であつて、(A-1), (A-4)' をみたすとする。 (CP) が  $C^\infty$  適切ならば、

$$WF(u) \subset \mathcal{C} \circ WF(f)$$

が成立する。

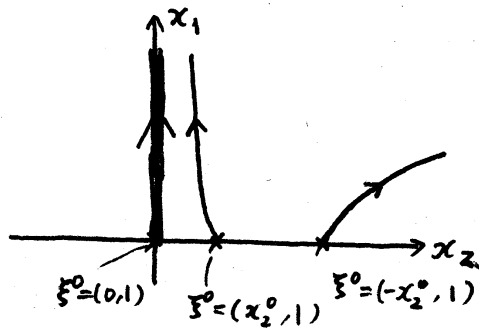
注意 特々、Nishitani [15] において2階2変数双曲型偏微分作用素(係数は実解析的)に対する Cauchy問題が  $C^\infty$  適切であるための必要十分条件が与えられているので、定理6より、実解析的係数をもつ2階2変数双曲型偏微分作用素に対する  $C^\infty$  適切な Cauchy問題の解の波面集合は、ほぼ完全に評価されることがなる。

例  $m=2, n=2$  とする。

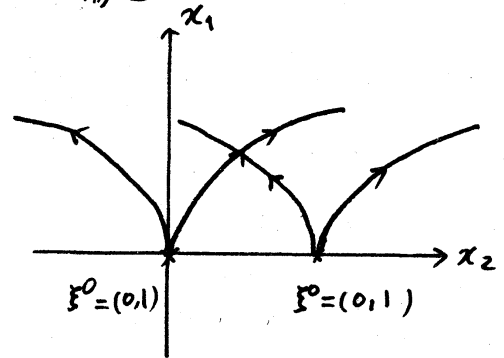
$$P_m(x, \xi) = \begin{cases} \xi_1^2 - x_2^2 \xi_2^2 & \text{--- (i)} \\ \xi_1^2 - x_1^2 \xi_2^2 & \text{--- (ii)} \\ \xi_1^2 - (x_1^2 + x_2^2) \xi_2^2 & \text{--- (iii)} \end{cases}$$

として、 $P(x, \xi)$  を Cauchy問題が  $C^\infty$  適切となるよう選ぶ( Nishitani [15] の条件をみたすように低階を定める)。そのとき、 $x_1=0$  上の真よりである解の波面集合を評価する  $K_{(0, x_2^0, \xi_0^0)}^+$  は、図のようになる(  $C^\infty$  適切を仮定しているので、解の波面集合が  $K_{\frac{z}{2}}^+$  によって評価できる)。

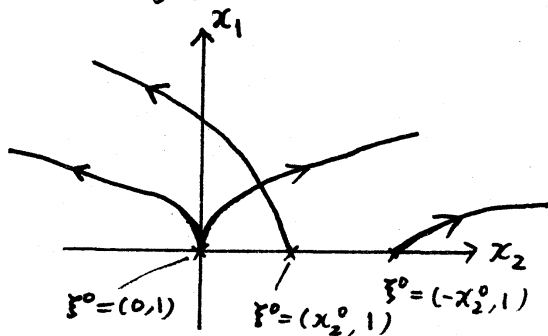
(i) の場合



(ii) の場合



(iii) の場合



(i) の場合には、定理 1 (定理 5) を適用してもよい。(ii) の場合は、non-involutive の場合で、Ivni, Hanges, Melrose 7 も扱っている。

定理 2 の証明は、Bronshstein [3] の方法・評価と Wakabayashi [19] における方法を組み合わせることによってなされる。次の Lemma を証明するために、定理 2 において係数が実解析的であると仮定した。

Lemma 2 任意のコンパクト集合  $M \subset \mathbb{T}_z$  に対して、 $z$  の近傍  $U$  が存在して

$$z' \in U \implies M \subset \mathbb{T}_{z'}$$

が成立する (inner semi-continuity)。

この Lemma より、 $K_z^\pm$  が近似的に構成されることがしめせ、定理 2 を証明するためには、次をしめせばよいことになる。

$z^0 \in T^*R^n \setminus 0$ ,  $M \subset \Gamma_{z^0}$ : コンパクト,  $U \supset U'$ :  $z^0$   
 の近傍で,  $\forall z \in U$  に対して  $M \subset \Gamma_z$  を満たすとする.  
 ☆  $\text{supp } f \subset U'$  かつ  $WF_*(f) \cap (\{z^0\} - M^\sigma) = \emptyset$  なる  
 $f \in \mathcal{D}'$  に対して,  $P(x, D)u = f$ ,  $\text{supp } u \subset \{x, z \in U\}$   
 $z^0 \in WF_*(u)$  ならば,  $z \in U' \cap (\{z^0\} - M^\sigma)$  が存在  
 して,  $z \in WF_*(u)$  かつ  $z \neq z^0$  を満たす.

☆ は, 逐次近似によつて解  $u$  を構成して, Bronshtein の評価  
 を用いて, 解  $u$  の表現における積分路を変更して証明される.

#### REFERENCES

- [1] M. F. Atiyah, R. Bott and Gårding, Acta Math. 124 (1970), 109-189.
- [2] M. D. Bronshtein, Sib. Mat. Zh. 20 (1979), 493-501.
- [3] \_\_\_\_\_, Trudy Moskov. Mat. Obšč. 41 (1980), 83-99.
- [4] J. D. Duistermaat, Courant Institute Lecture Notes, New York 1974.
- [5] H. Hanges, Indiana Univ. Math. J. 28 (1979), 89-97.
- [6] L. Hörmander, J. Analyse Math. 32 (1977), 118-196.
- [7] \_\_\_\_\_, Enseignement Math. 17 (1971), 99-163.
- [8] V. Ja. Ivrii, Mat. Sb. 96 (1975), 390-413.
- [9] \_\_\_\_\_, Functional Anal. Appl. 10 (1976), 141-142.
- [10] V. Ja. Ivrii and V. M. Petkov, Uspehi Mat. Nauk. 29 (1974), 3-70.
- [11] H. Komatsu, J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sect. IA, 20 (1973), 25-105.
- [12] R. Lascar, Springer Lecture Notes in Math. 856 (1981).
- [13] R. B. Melrose, Bull. Amer. Math. Soc. 81 (1975), 939-940.
- [14] Y. Morimoto, Comm. in P. D. E. 4 (1979), 609-643.
- [15] T. Nishitani, A necessary and sufficient condition for the hyperbolicity  
of second order equations with two independent variables, to appear.
- [16] J. C. Nosmas, Comm. in P. D. E. 5 (1980), 1-22.
- [17] J. M. Trepreau, Comm. in P. D. E. 4 (1979), 339-387.

- [18] S. Wakabayashi, Japanese J. Math. 6 (1980), 179-228.
- [19] \_\_\_\_\_, Singularities of solutions of the Cauchy problems for operators with nearly constant coefficient hyperbolic principal part, to appear in Comm. in P. D. E.
- [20] J. Chazarain, Ann. Inst. Fourier Grenoble 24 (1974), 173-202.