

◆ 特集：防護・環境・利用の調和した海岸を目指して ◆

白川河口域における土砂動態の解明

山本浩一* 末次忠司** 藤田光一*** 横山勝英****

1. はじめに

河口に形成される干潟（河口干潟）は貝類や底生生物など様々な生物の生息場となっている。近年では環境問題に関する社会の関心が高まり、干潟環境の保全が求められている。一方で河口域には微細な土砂が堆積しやすいため、航路、港湾の維持のために土砂の浚渫が必要な場合もある。このため、自然環境に配慮した河口域の土砂管理技術を構築する必要があるが、その基礎的段階として河口域の土砂動態と地形・底質の変化の関係を解明することが必要である。

河口域は海水と淡水が出会うことにより複雑な流況、土砂の流動状況を示し、非感潮区間における土砂モニタリング方法がそのまま適用できず、河口域のモニタリング技術の開発が必要とされていた。著者らはこれまで河口域における土砂動態を明らかにするために、そのケーススタディとして強混合河川感潮域（上げ潮時に塩分の鉛直勾配が無く濃度が高い感潮域）である熊本県白川河口域を対象に平成12年度から研究を行い、超音波流速計による流動モニタリング、地形変化測量、出水時の土砂供給量の観測を通して河口域の土砂動態モニタリング手法を確立し、土砂動態を明らかにしてきた。既報^{1) 2) 3)}により報告されている部分もあるが、最新の観測結果を加え、再構成して報告する。

2. 研究方法

研究対象地は白川河口域の河道3kmから河道0km、および干潟部を含む沖合4kmまでである（図-1）。白川は阿蘇カルデラに源を発し、熊本市内を流下して有明海へと注ぐ。流路延長は74km、流域面積は480km²であり、その8割を阿蘇カルデラが占めている。河道4.4kmには取水堰があり、これより下流が感潮区間である。研究対象地は潮

汐による干満差が最大で4m程度と大きい、満潮時には塩水が強混合状態で河道に進入する。また、干潮時には沖合2.5km付近まで砂泥質の干潟が出現する。干潟の幅は4km程度である。本報告における観測項目は次の3つに分類される

- (a) 上流からの土砂供給
- (b) 河口域の地形・底質変化
- (c) 潮汐に伴う底質の移動

さらに、(d) 河口域の底質の粒径分析を実施した。

観測方法については各項目で詳述する。

3. 上流からの土砂供給量

3.1 観測方法

現地観測は通年の土砂供給量を観測するための

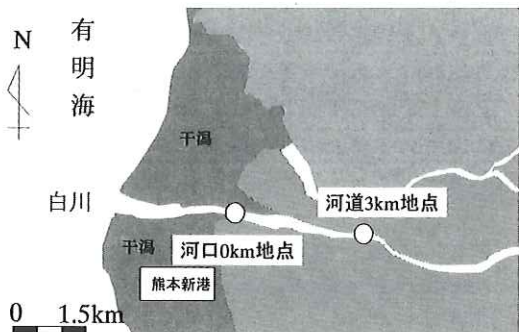


図-1 白川河口域

表-1 観測項目と実施時期

観測名	内容	2001											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上流からの土砂供給	モニタリング												
	濁水採取												
地形変化	測量												
	底質採取												
平水期の土砂移動	モニタリング												
	集中観測												
観測名	内容	2002											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
上流からの土砂供給	モニタリング												
	濁水採取												
地形変化	測量												
	底質採取												
平水期の土砂移動	モニタリング												
	集中観測												

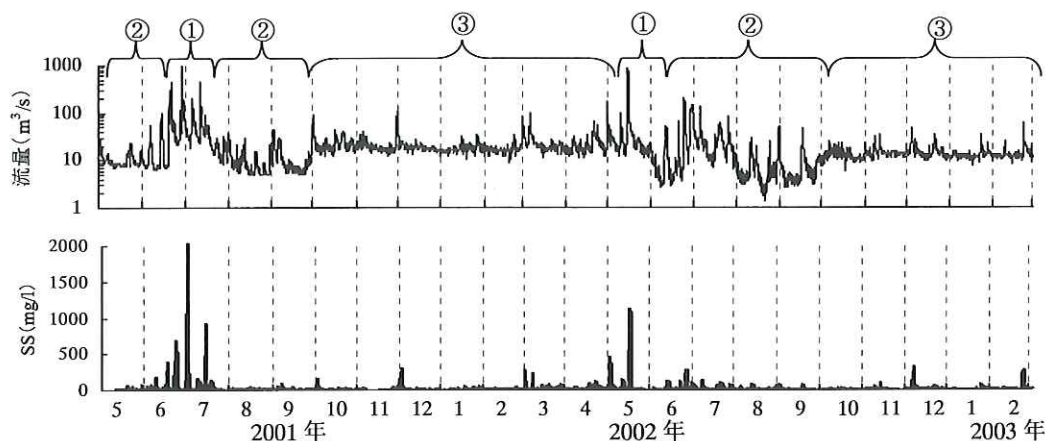


図-2 白川13km地点における流量と16km地点におけるSS濃度、2001年5月～2003年2月

①：出水期 ②：灌漑期 ③：非灌漑期

定位置での濁度モニタリングと供給土砂の物性・化学組成を分析するための濁水採取の2種類である。非感潮域の河道16km地点で濁度を連続計測し、12km地点で採水作業を行った。

濁度モニタリングには自記式濁度計（アレック電子、ATU5-8M）を使用した。データ取得間隔は20分である。計測は2000年7月から開始し、現在（2003年3月31日現在）まで継続中である。出水時にはバケツで濁水を採取し、同時に濁度と水温を測定した後、実験室にサンプルを持ち帰り、粒径分布、SS、栄養塩の濃度を測定した。粒度分析にはレーザー回折式粒度分析計を用いた。

濁水は2001年6月に4洪水、2002年6月に1洪水において採取した。

3.2 観測結果

図-2に2001年5月から2003年2月までの河道16km地点における濁度、河道13km地点における流量を示す。熊本県では5月から7月にかけて梅雨による出水があり、本研究では2001年については6月中旬から7月中旬の1ヶ月間、2002年については5月中旬から6月中旬までの1ヶ月間を出水期と定義した。

実際に採取された濁水の濁度を測定し、かつガラスファイバーフィルターで濁水をろ過してSS濃度を測定し、濁度をSS濃度に換算した。

2001年6月の出水時には3年確率程度の大きい洪水が発生し、濁度計の最高計測濃度レンジである2000mg/lを超える濁度が観測され、このときについては実際に採水された濁水のSS濃度を用

いた。

上記データからSS負荷（通過土砂量）の時系列を算出することができ、通過土砂量の累積値を算出した。2001年には出水期に13.3万トンの土砂が、2002年には3.5万トンの土砂が上流から供給されたことがわかった。粒度分析の結果、D₅₀（50%粒径）は0.01mm～0.02mm、D₉₀は0.03～0.07mmの範囲にあり、出水時に流出する浮遊土砂はシルト・粘土であった。また、出水時に河口に堆積した底質の湿潤状態での密度は1.3（g/cm³）であった。以上から、2001年～2002年の2年間で河口部に16.8万トンすなわち12.9万m³の土砂（シルト・粘土）が供給されると算出された。ただし砂分の供給については不明である。

4. 河口域の地形変化と底質の変化

4.1 調査方法

河口干潟の地形変化量を粒径別に把握するため、音響測深と底質採取を出水期の直前（2001年6月9日）、直後（同7月9日）、2ヶ月後（9月2日）、1年後（2002年9月6日）に実施した。また、非出水期の地形・底質変化についても把握した。

作業は音響測深機（千本電気、PDR101）、D-GPS（Trimble、PRO-XR）を作業船に搭載して行った。

測線は岸と平行に200m間隔で沖合4kmまで設定した。底質採取は干潟の幅2.5km、沖合3kmまでの範囲において47地点で実施し、採取過程で土砂の含水率などが変化しないようにダイバーによ

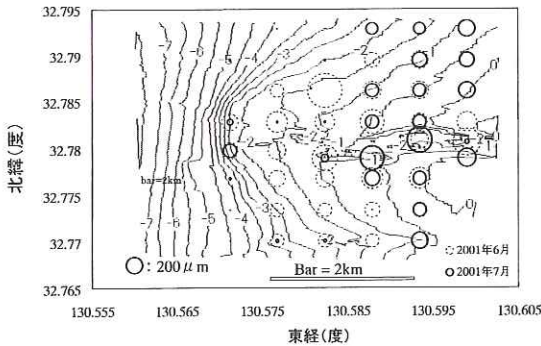


図-3 白川河口沖合における出水前後の底質の代表粒径の空間分布（コンターの数字はTP (m)、円の直径が底質の50%粒径に相当2001年6月：破線、7月実線）

る直接採取を行い、サンプル容器に密封した。底質は実験室にて密度、含水率、粒度分布を測定した。なお、音響測深の精度は放電紙の読みとり精度や船の動揺の関係で5cm程度である。

4.2 調査結果

粒度分析の結果、底質は粒径が $75\mu\text{m}$ 以下であるシルト・粘土と $300\mu\text{m}$ 程度の細砂成分から構成されていることが明らかになった。

出水前後の底質の変化を図-3に示した。出水前の河口テラス頂置面は砂が主成分であったが、出水後に沖合2km以遠の頂置面および滞筋の両脇に一樣にシルト・粘土が表層に堆積した。堆積厚は最大で30cmであった。

河口テラスの北東部頂置面は底質の変化が顕著でなく、出水前と同様に砂質であった。また、河口テラスの底置面にあたる沖合3km、滞筋から北に1.6km地点の底質はシルト・粘土で出水前後に変化は無かった。

河口に供給された土砂のうち、砂は河口テラス頂置面に堆積し、沖合の底置面に直接堆積しなかったことがわかる。干潟全体での土砂堆積量は $42.4\text{万}\text{m}^3$ であり、うち、シルト・粘土が $24.3\text{万}\text{m}^3$ 、砂が $18.1\text{万}\text{m}^3$ と推定された。シルト・粘土成分については上流から供給された量（ $10.2\text{万}\text{m}^3$ ）の2倍量が堆積したと見積もられた。

非出水期である2002年9月から11月にかけては粗粒化が進んだ（図-4）。局所的に50%粒径が大きい地点があるが、これは貝殻片の混入により底質がShell Sandであった地点である。非出水期については地形・底質の変化が明瞭ではなかった

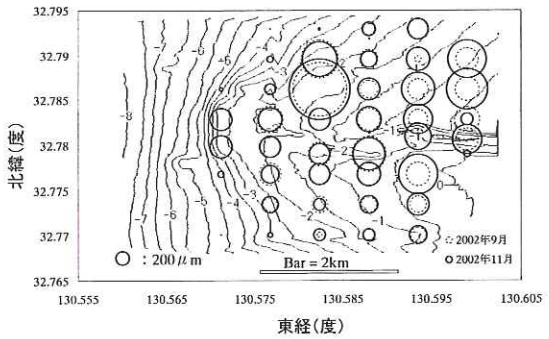


図-4 白川河口沖合における非出水期の底質の代表粒径の空間分布（コンターの数字はTP (m)、円の直径が底質の50%粒径に相当、2002年9月：破線、11月実線）

め、地形測量からは土砂移動量を推定することはできなかった。

なお、2001年9月から1年後の2002年9月については、沖合の河口テラスの外側を除き全般的に粗粒化の傾向にあった、2002年の洪水により河口域に供給された土砂が2001年に供給された土砂の4分の1程度であったことも河口テラス部で粗粒化が進行した原因と考えられる。

以上より、出水により河口テラスに供給された土砂のうち、砂分は堆積してテラスの地形変化に寄与するが、シルト・粘土成分は河口テラス部に一旦堆積するものの、時間の経過とともに底質から抜け出して別の場所に移動することが分かった。非出水期には波浪・潮流などの影響によりシルト・粘土は巻き上げられて河口テラスより沖合の底置部に堆積するか、感潮河道に遡上していることが予想される。

5. 潮汐による土砂移動量

5.1 観測方法

河口域における浮遊土砂を長期的かつ定量的に把握するための流動モニタリングと、浮遊土砂の物性、塩水の遡上の状況を把握するための集中観測を実施した。観測地点は河口0km、河道3km（以下河口、河道と略する）である。

超音波ドップラープロファイラー（NORTEK社、Aquadopp、2MHz）を河床から上向きに設置し、水温・塩分・濁度をそれぞれ日記計測で連続的に取得し、流動、塩分、土砂濃度を計測した。計測時間間隔は10分とした。

集中観測は2001年6月7～8日と9月4日～5日、2002年2月17日～2月18日の合計3回である。2001年は連続36時間、2002年は連続24時間の水質鉛直分布の計測、採水作業を行った。

超音波流速計は、超音波の反射音響強度とその時刻、距離のSS濃度の関係を整理することによって、反射強度をSS濃度に換算することが可能である³⁾。本報告ではこの方法を用いて集中観測時の濁度の鉛直分布と音響反射強度の関係を整理した結果、次式が得られ、これを用いてSS濃度の鉛直分布を推定した。

$$40\log C = I - B + k \log r + 2ar \cdots \cdots (1)$$

ただし I : 反射音響強度 (count)、 C : SS濃度の推定値 (mg/l)、 r : 超音波流速計からの距離

(m)、 B : 基準音圧(count)、 k : 拡散損失係数、 a : 吸収係数である。 a はいくつかの式が提案されており、発振周波数が2.0MHzのときは a の平均値が2.8count/mである。ここで、1count=0.43dBである。SS濃度と音響強度の関係から求めた B 、 k は表-2の通りである。

なお、時期によって各式の係数が異なっている

表-2 基準音圧 B と拡散損失係数 k

時 期	地 点	B	k
2001.1-2002.4	河道3km	60	45
	河口0km	77	53
2002.4-2003.3	河道3km	49	43
	河口0km	70	25

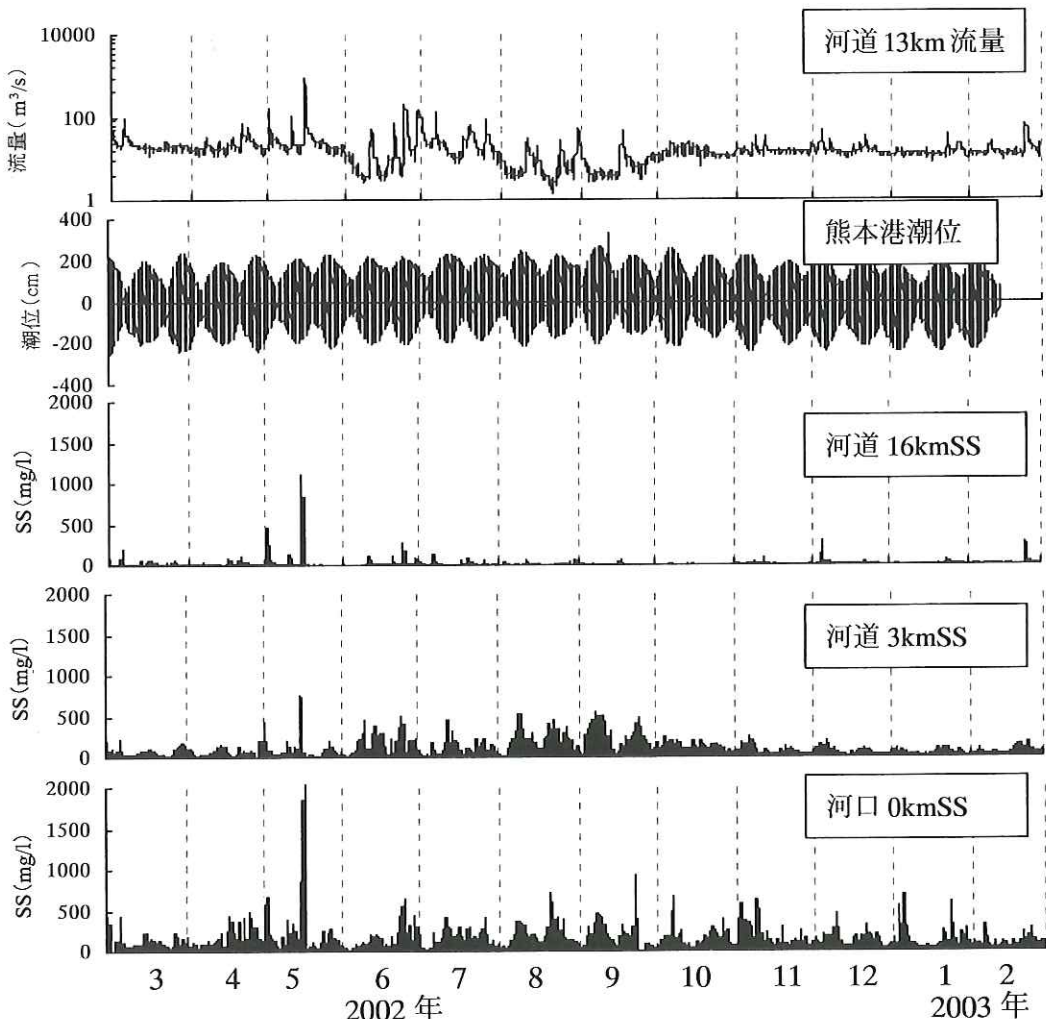


図-5 白川下流域における流量、潮位、土砂濃度

のは超音波の出力設定を変更したことによる。場所によって各式の係数が異なるのはSSの性状（凝集状態など）が異なることが理由として考えられる。

5.2 観測結果

図-5に2002年3月から2003年2月までの河川流量、潮位、河口の濁度、河道の濁度を示す。なお、2001年の観測結果については既報^{1) 2)}において発表している。河口では小潮から大潮を経て小潮に至る半月周期の土砂濃度のピークがみられ、潮汐によって干潟の土砂が巻きあがっていることが分かる。一方河道では出水期を除き、河川流量の高くなる非灌漑期（10月～翌4月）ではSS濃度は200mg/l程度であるが、灌漑期（7月～9月）は土砂濃度が500mg/lに達し、濃度が高くなることが分かる。著者らは別途集中観測によって、上げ潮時に河口から河道へと土砂濃度が高い水塊（高濁度水塊）が河道に遡上することを確認している⁴⁾が、河口において巻きあがった土砂（シルト・粘土成分）の1潮汐における河道内への侵入量は潮位差および河川流量によって左右されいると考えられる。

6. 非出水期の土砂収支

超音波流速計で計測した流速の鉛直2次元分布を用いて河川流量を算出して各時刻での土砂濃度の積をとり、河口域での通過土砂量を算出する。

まず河口、河道のそれぞれの地点における平均流速の鉛直分布を求めなくてはならないが、これは既報³⁾に従い、以下のようにして求めた。

$$V_i = \beta v_i \dots \dots \dots (2)$$

$$Q = \beta \sum_{i=1}^n v_i S_i \dots \dots \dots (3)$$

V : 横断方向の平均流速 (m/s)

v : 測定流速 (m/s)

i : 河床からの断面数

β : 流速補正係数

Q : 流量 (m³/s)

S : 測定層の横断面積 (m²)

河道13kmと河道3kmの間には農業用の取水堰が存在し、灌漑期には河川水を取水するので河道

3kmにおける河川流量は河道13kmよりも低くなる。このため、非出水期を灌漑期、非灌漑期に分けて平均流速の補正を行うこととした。

①灌漑期（6月～9月）：出水時において河道13kmにおける日平均流量と河道3kmにおける日平均流量が等しくなるように河道3km地点の β を調整する。その後積算流量が河道3kmと河口0kmで等しくなるように0km地点の β を調整する。

②非灌漑期（3月～4月、10月～翌2月）：河道13kmにおける流量の月間の積算値と河道3km、河口0kmにおける月間の流量の積算値が等しくなるように両地点の β を調整する。

上記の方法で β を調整し、平均流量の鉛直分布を算出して、SS濃度の鉛直分布の積を求めることにより土砂フラックスを算出した。

比較的データ取得率の高かった2002年について非出水期（出水期の2002年5月を除いた11ヶ月）の土砂移動量の算出結果を図-6に示す。

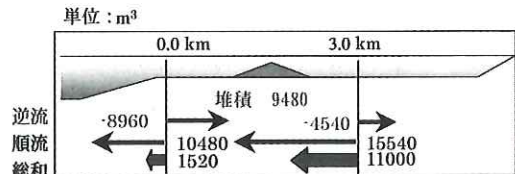


図-6 白川における非出水期の年間土砂移動量（2002年3月～2003年2月；ただし2002年5月は出水期のため除く）

算出結果によれば非出水期の11ヶ月については

①河川から河口0kmを横切って沖合に出た10,480m³の土砂の約85%にあたる8,960m³は河道に逆流した。

②河道3kmを横切って下流に流送された土砂15,540m³のうち約29%の4,540m³の土砂が3kmよりも上流（3km～4.4km）に逆流した。

③非出水期の11ヶ月に河道3kmと河口0kmの区間に9,480m³が堆積した。この土砂が0km～3kmの区間の0.358km²に平均的に堆積したと仮定すると非出水期には年間2.6cm河床が上昇する計算になる。

④非出水期に感潮区間を流動する土砂のフラックスを河川流量で整理した（図-7）。図-7中の河道3kmにおける近似直線の傾きが0kmにおけ

る近似直線の傾きよりも大であることは、0kmから3kmまでの区間にシルト・粘土が常に堆積する傾向があることを示している。

非出水期に堆積したシルト・粘土は出水時に侵食され、沖合に輸送されることが予想されるが、今のところ感潮河道の侵食量を定量的に示せていない。これは今後の課題としたい。

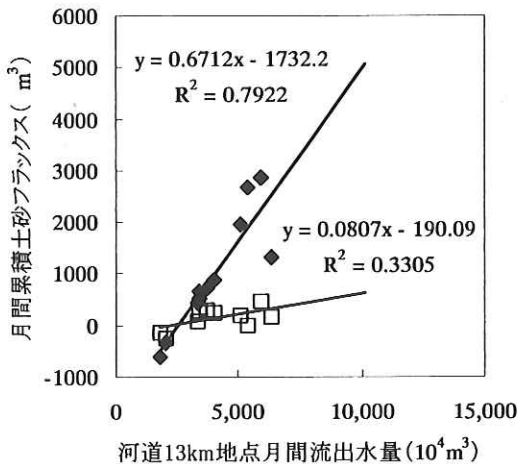


図-7 白川13kmにおける月刊累計流量と河道3km (◆)と河口0km (□)における月間累積土砂フラックス(下流方向: 正)の関係

7. おわりに

強混合河川に分類される白川河口域の土砂動態を明らかにすることを目的として河口部に観測機器を設置し、長期モニタリングおよび河口部での集中観測、底質調査、深淺測量を実施した結果、河口部の土砂動態について以下が明らかになった。

- (1) 出水期に2001年は10.2万 m^3 の、2002年では2.7万 m^3 の土砂(シルト・粘土)が上流域か

ら河口域に供給された。河口域に供給される土砂は洪水による供給が大である。

- (2) 2002年の非出水期11ヶ月には累計1.84万 m^3 のシルト・粘土が河口を流動し、河口0kmから河道3kmまでの区間に約0.95万 m^3 のシルト・粘土が堆積した

本研究を遂行するにあたり、熊本河川国道事務所からは河川流量データ、熊本港湾・空港整備事務所からは熊本港の潮位データ、波高データ等を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 末次忠司、藤田光一、諏訪義雄、横山勝英：沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究，国土交通省国土技術政策総合研究所資料，No.32，2002。
- 2) 宇野誠高、横山勝英、森下和志、高島創太郎、大角武志：熊本県白川河口域における土砂動態，海岸工学論文集，第49巻，pp.561-565，2002。
- 3) 横山勝英、宇野誠高、森下和志、河野史郎：超音波流速計による浮遊土砂移動量の推定方法，海岸工学論文集，第49巻，pp.1486-1490，2002。
- 4) 横山勝英、宇野誠高：河川感潮域における高濁度水塊の挙動－強混合河川の場合－，海岸工学論文集，第48巻，pp.631-635，2002。

山本浩一*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官，博（工）
Dr. Kohichi YAMAMOTO

末次忠司**



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長，工博
Dr. Tadashi SUETSUGI

藤田光一***



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室長，工博
(前 同 河川研究部河川研究室長)
Dr. Kohichi FUJITA

横山勝英****



東京都立大学大学院土木工学専攻講師，工博
(前 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官)
Dr. Katsuhide YOKOYAMA