

特 集

トキの野生復帰の現状と展望

* 永田尚志¹

The current status of the reintroduction program of Crested Ibis *Nipponia nippon* and its perspective on Sado Island

* Hisashi Nagata¹

¹ Center for Toki and Ecological Restoration, Center for Transdisciplinary Research, Niigata University, 8050 Ikarashi-Ninocho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan

* E-mail: hnagata@gs.niigata-u.ac.jp

トキは、シーボルトが日本滞在中に収集してライデン博物館へ送った標本をもとに、テミンクによって1835年に *Ibis nippon* として記載された。トキは、最近までコウノトリ目に属していたが、最近の研究成果によりコウノトリ科だけがコウノトリ目として独立し、トキ科、サギ科、シュモクドリ科、ハシビロコウ科はペリカン科と一緒に、ペリカン目へと移された (Hackett ほか 2008, 日本鳥学会 2012)。トキの全長は 70~80 cm であり、性的 2 型はないが、雄で 1.8~2.0 kg, 雌で 1.4~1.6 kg と雄が若干大きい。コウノトリ (4~6 kg) と比べると、体重は 3分の1 から 4分の1 にしかすぎない。学名が、*Nipponia nippon* であるため、日本の鳥と思われがちであるが、過去には、アムール川流域以南から朝鮮半島、中国、日本、台湾にかけて東アジアに広く分布

していた (山階・中西 1983)。

日本産トキの野生絶滅と再導入計画

1981年に佐渡島に残っていた最後の5羽を捕獲し、日本の野生個体群は消滅し、野生絶滅という状態に至った (図1)。個体数の減少の原因は複数考えられるが、明治初期の銃猟の解禁による乱獲により激減し、戦争中の燃料不足による森林伐採、戦後の農薬使用が追い打ちをかけたためであろう。奇しくも日本でトキが野生絶滅した1981年に、2家族7羽の野生のトキが中国陝西省洋県で再発見された。中国では手厚い保護増殖の結果、2009年末現在、野生で約760羽、飼育下で530羽の約1,300羽にまで個体数が回復している。最後に残った日本産トキ6羽のうち雄は1羽だけであり、1986年までに捕獲した雌4羽は死亡した。最後まで残っていた雌のキンは高齢であったため、日本産トキ同士での交配は成功しなかった。中国では1989年に初めてトキの飼育下繁殖に成功し、その後、飼育下で増殖できるようになった。1987年から1994年にかけて、中国産トキと日本産トキとの交配のべ3つがいで試みられたが、すべて失敗に終わった。しかし、1999年にトキ保護センターで中国から贈呈されたつがいが飼育下ではじめて繁殖に成功し、この面白い、友友と洋洋、の子孫と、その後中国から供与され

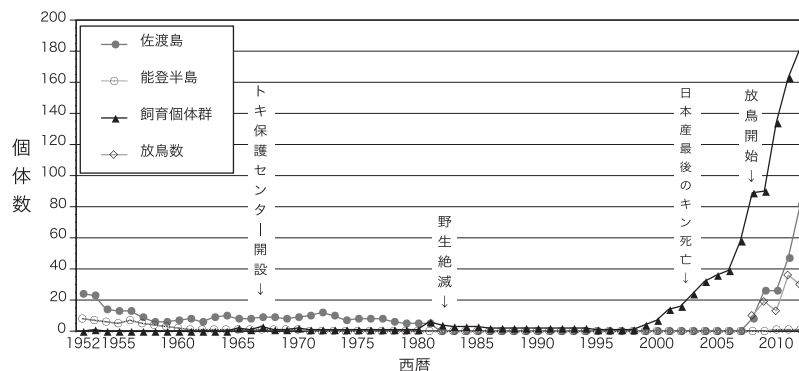


図1. トキの個体数変化 (永田 (2012) に最新データを加えて作成)。

¹ 新潟大学・研究推進機構超域学術院・朱鷺・自然再生学研究センター
950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地
* E-mail: hnagata@gs.niigata-u.ac.jp

た3羽のトキを始祖とする飼育下増殖は順調に進んでいった(永田 2012)。そこで、農水省・国交省・環境省(2003)はトキ保護増殖事業計画の改訂版を公表し、佐渡島小佐渡東部地域でトキの再導入を実施することを決めた。トキ野生復帰環境再生ビジョンでは、再導入までにトキの増殖・野生順化を行うと同時に、生息環境の復元のための自然環境整備とステークホルダー間で合意するための社会環境整備を行うことが盛り込まれている(環境省 2004)。環境省は、2015年までに60羽の個体群を佐渡島に定着させることを目標としてトキの再導入プログラムを続行している(詳細は、長田 2012参照)。

トキの野生復帰の実行

飼育個体数が100羽を越える目処がついた2008年秋に最初の放鳥が計画され、2008年9月25日に佐渡島で盛大な放鳥式典を行い、雌雄各5羽、合計10羽がハードリリース法で試験放鳥された。2009年以降は2010年までは毎年1回、ソフトリリース法で放鳥が実施され、2009年秋に19羽、2010年晩秋に13羽が放鳥された。2011年以降は、毎年2回の放鳥が実施され、2011年には計36羽、2012年には30羽の合計のべ108羽が放鳥されている(表1)。放鳥後1年を経過した5次放鳥までの個体のうち、これま

で死体を確認できたのは4羽に過ぎない。環境省は、6ヶ月以上消息のない個体を行方不明、1年以上消息のない個体を死亡として扱っている。これまで、行方不明個体が再確認された例はないため、6ヶ月以上消息ない個体を死亡として扱うと、1次～5次放鳥個体の年平均生残率は73%となる(表2)。年平均生残率は、テンによる殺戮のために放鳥時期が遅れ、積雪期まで1月しかなかった3次放鳥個体が一番低く、2012年1月に次々と猛禽類に襲われた2次放鳥個体が次に低くなっている。

放鳥されたトキの定着

試験放鳥されたトキには、個体識別のために個体番号を刻印したプラスチックリング、2個のカラーリングが装着され、翼には色標識が施されていた。また、人工衛星で追跡できるように、6羽にはGPS受信機を積んだ電波発信機が装着されていた。発信機のメモリーに蓄積されたトキの位置情報はARGOSシステムを用いて、3日に1回、上空を通過する人工衛星で回収される。試験放鳥直後の9～10月は、各個体とも国中平野から小佐渡にかけて広く分布し、行動圏が定まらず、やっと、11～12月にかけて、行動圏が加茂湖周辺と小佐渡南部の狭い地域に収束した。GPSが装着されている個体の移動パター

表1. 佐渡におけるこれまでのトキの放鳥履歴。

放鳥名称	実施期日	放鳥数	放鳥地点	放鳥方法	備考
試験放鳥	2008/9/25	10	野生復帰ステーション下	ハードリリース法	盛大な放鳥式典
2次放鳥	2009/9/29～10/3	19	仮設ケージ	ソフトリリース法	放鳥式典
3次放鳥	2010/11/1～6	13	順化ケージ	ソフトリリース法	テンの侵入事故により放鳥の遅れ
4次放鳥	2011/3/10～13	18	順化ケージ	ソフトリリース法	春放鳥
5次放鳥	2011/9/27～28	18	順化ケージ	ソフトリリース法	
6次放鳥	2012/6/8～10	13	順化ケージ	ソフトリリース法	初夏放鳥
7次放鳥	2012/9/28～10/1	17	順化ケージ	ソフトリリース法	回収した2次放鳥個体の再放鳥 1羽含む
合計		108			

表2. 放鳥トキの生残率*1.

放鳥回	生 残 数						各放鳥の年生残率
	放鳥数	6ヶ月後	1年後	2年後	3年後	4年後	
試験放鳥	10	8	7	5	4	4	0.80
2次放鳥	19	14	12	10	7*2	—	0.72
3次放鳥	9	5	4	3	—	—	0.58
4次放鳥	18	12	12	—	—	—	0.77
5次放鳥	18	16	14	—	—	—	0.78
年平均生残率	—	0.55	0.66	0.78	0.73	1.00	0.73

*1 永田(2011): Table 1に最新データを追加。

*2 2012年1月に3羽の雌が次々に猛禽に襲われて2羽が保護され、秋に1羽が再放鳥された。ここでは、回収された1羽は野外では生残できなかったとみなしている。

ンを詳しくみてみると、雄は放鳥直後に島内を大きく移動して定着場所まで移動しているのに対して、雌は、放鳥直後に本土に渡った1羽を除くと、放鳥後の比較的早い時期に定着場所を決めていた。しかし、島に残っていた雌も繁殖期になると次々と本州へと分散していった。GPSが装着されていたF04個体では、5月まで宮城県、山形県、新潟県、富山県と大きく放浪した(図2)。ソフトリリース法で放鳥された2次放鳥個体の多くは放鳥場所近くに留まり、すぐに群れを形成した。その結果、2次放鳥雌11羽のうち2羽が本州に渡っただけであった。このように、ハードリリース法で行われた試験放鳥では定着までに時間がかかり群れ形成が遅れてすべての雌が当該に分散した結果、つがい形成に至らなかった。そのため、2次放鳥以降ではケージから直接放鳥するソフトリリース法が採用されることになった。一般的に、鳥類では雄に比べて雌が出生地からより遠くに分散することが知られているので(Greenwood 1982)、トキにおいてもつがい形成できなかつた雌がつがい相手を求めて放浪し、雄を見つけられなかつた雌が本州へと出ていったと考えられる。これまで、本州へ出ていった6羽の雌のうち3羽は、翌年の繁殖期に佐渡に戻り、富山県まで行った1羽のみが本州に残っているだけである(図2)。3次

放鳥では、巣立ち後、半年足らずの当歳個体を放鳥したが、発達した低気圧の通過前後に2羽の幼鳥雄が本州へ渡り、行方不明となっている。このような当歳個体の分散は、出生分散による分散かもしれない。4次放鳥以降は、島内のトキの生息密度が高くなったためか、放鳥後の本州への移動は観察されていない。

放鳥トキの採餌生態

環境省は2015年までに小佐渡東部に60羽のトキを定着させることを目標としている(環境省 2004)。佐渡島に何羽のトキが生息可能かを明らかにするためには、まず、放鳥されたトキの摂食生態を明らかにする必要がある。サギ類は、視覚で餌を探し、餌を発見するとゆっくりと接近し、素早く嘴を突き出して餌を捕まえるという、視覚型の採餌方法を用いる。それに対して、トキは嘴を泥の中に軽く差し込みながら歩きまわり、嘴の先で餌を感知すると、嘴を深く差し込んで餌をひっぱりだして飲込むという、接触型の採餌方法を用いる。そのため、視覚型採餌を行うアオサギは水面のない湿った水田のようなトキの採餌場所ではほとんどドジョウを捕ることができなくなる。

直接観察で確認できた餌種は、ドジョウ、タモロコなどの魚類、ツチガエル、サドガエル、モリアオガエル、ヤマアカガエル、ウシガエル、アマガエル、イモリ等の両生類、トンボ成虫、ヤゴ(幼虫)などのトンボ目、甲虫目、バッタ、ケラ等の直翅目、およびミズアブの幼虫等の双翅目の昆虫類、サワガニ、アメリカザリガニ等の節足動物、ミミズなどの環形動物であった。小型の餌は直接観察で識別することは困難であったが、トキが採餌していた場所からダンゴムシ、オカトビムシ、クモ類をはじめとする多数の節足動物が確認されたことから、これらの節足動物も餌として利用されていた可能性が高いと考えられた(永田 2010)。放鳥トキの飲み込み回数中で、ドジョウの占める割合は11~16%に過ぎず、水田が利用できない夏期にはミミズが36%となり、冬期にも24%を占めていて、ミミズが重要な餌であることが明らかになった(図3)。また、冬期には水田や畦に越冬中のアマガエル、サドガエルおよびイモリを掘り出して食べるため、両生類の占める割合が23%に達していた。餌生物の平均重量(湿重)をもとに、飲込んだ餌量を重量比に換算すると、ドジョウの寄与率が16~47%と最も大きくなり、次がミミズの12~28%であった。重量換算からドジョウが最も重要な餌であり、次にミミズ、昆虫と続き、冬期には冬眠中のカエルも重要な餌となっていた。



図2. 佐渡から分散した試験放鳥雌個体F-04の移動軌跡。

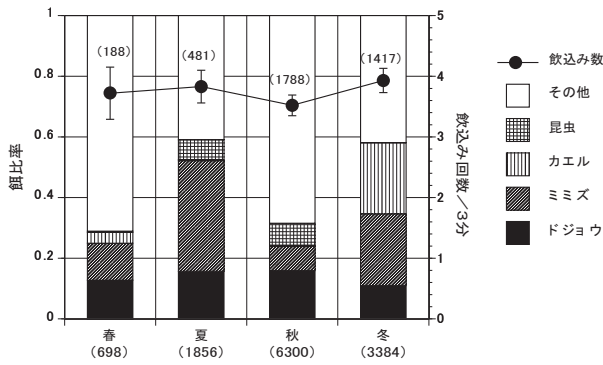


図3. トキの餌メニューの季節変化.

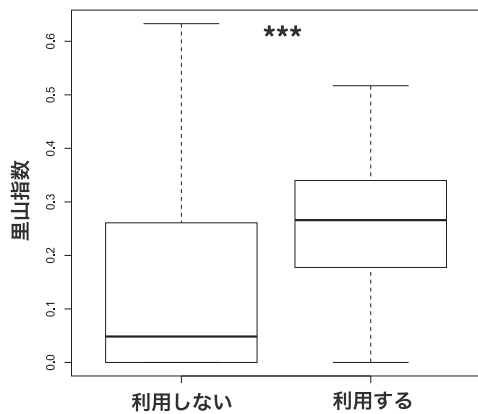


図4. 試験放鳥個体と2次放鳥個体の両方が利用した環境の里山指数. 里山指数 (Kadoya and Washitani, 2011) は地点の周囲250 m の環境比率より求めた. トキの利用した地点は利用しない任意地点に比べて里山度が高い (Mann-Whitney's U 検定 $P < 0.01$)

GPS データが得られた活動地点のうち、試験放鳥と2次放鳥のトキのいずれもが採餌場所として利用した場所97地点の周囲の環境とトキが利用しない任意の100地点を比較してみた。トキが採餌場所として利用したと考えられる水田は角谷・鶯谷の里山指数 (Kadoya and Washitani 2011) の高い地点であった (図4)。角谷・鶯谷の里山指数は、ハビタットパッチのシンプソン多様度 ($1 - \sum p^2$) に自然植生比率を乗じたものであるため、多様な環境パッチが混在し農地・人家の割合の比較的小さい場所で里山度が高くなる。そのため、トキが好んで利用した地点は、丘陵の間に水田が入り組んで配置されている「谷津田」とよばれる里山景観であるといえる。

トキの繁殖行動

トキの1年の生活史は、繁殖期と非繁殖期の大きく2つの時期に分けられる。繁殖期にはつがいで行動し、抱卵が始まると単独行動へと変わる。一方、非繁殖期には群を形成し、数羽から十数羽の個体が一緒に行動をする

ようになる。非繁殖個体は繁殖期にも数羽の小さい群れで行動している。2月になると2歳以上の成鳥は水浴びをするごとに黒くなり、背中が黒灰色の繁殖羽に変わる。2月後半～3月にかけて求愛を行いつがいができると、つがいで行動するようになり、造巣を開始する。3月中旬から5月上旬にかけて造巣・産卵し、最初の卵が巣に産みこまれると雌雄交代で抱卵を始める。1日おきに1個の卵を産卵し、1卵あたり28日の抱卵期間が必要のため、全体の抱卵期間は30～37日になる。育雛期間は35～40日、巣立ち雛の世話も1ヶ月程度行うので、繁殖期は半年近くになる。成鳥は繁殖終了後7～9月にかけて換羽して、10月には鶉色の羽に戻る。しかし、2010年と2011年に営巣した22巣の繁殖は失敗に終わった。繁殖失敗の原因の内訳を多い順に並べると、未孵化卵 (8例)、非繁殖個体の妨害 (4例)、ハシブトガラスやヤンによる捕食 (3例)、巣の未完成 (3例)、悪天候 (2例) などであった。4月中旬に繁殖に失敗した番いの一部は再営巣するが、5月中旬以降に失敗した場合、営巣場所を離れて繁殖行動をやめて、非繁殖個体の群れに合流して行動した。

2012年の繁殖期には、繁殖可能な2歳以上のすべての16羽の雌がつがいにいった。2羽の雌は繁殖期の途中で相手を変えたため、のべ18組のつがいが形成され、24巣で営巣を行った。野生絶滅前のトキは、アカマツ、クリ、ケヤキの大径木に営巣していたとされている (山階・中西 1983)。2010～2012年に確認された43巣のうち、17巣 (39.5%) はスギ植林にかけられ、コナラ (8巣)、スダジイ (5巣)、クロマツ (5巣)、アカマツ (4巣) と続いている。放鳥トキは、生息域内で利用可能な樹種を利用して、明確な営巣樹種選択はないと考えられる。

2012年の24営巣うち、3巣でヒナが孵化して8羽の幼鳥が巣立った。佐渡島の野生下で幼鳥が巣立ったのは38年ぶりであった。ヒナの孵化後29～35日までは雌雄いずれかが巣に残り、ヒナが小さいうちは抱雛し、大きくなってからは傍の枝で見守っていた。ヒナの餌要求量が増加する巣立ちまでの8～15日間は両親とも巣から離れて採餌に出かけるようになった。親は、巣に戻った直後と滞巢中に複数回の給餌を行うが、吐き戻しで給餌を行うため、実際の給餌量はわからない。育雛期間中に両親が採餌している餌種は、ヒナが小さいうちは小型の餌が多く、成長速度が最大となる16～18日齢以降にドジョウなどの大型の餌の採餌が多くなる傾向はみられたが、季節の進行に応じてドジョウ、カエル、ミミズ、昆虫類を採餌していた。巣立ちヒナは、地面をつついて採餌行動をするものの、巣立ち後2週間はほとんど自力で餌を取

れずに親からの給餌に依存していた。巣立ち後、2～4週の間には両親の半分ほどの効率でミミズや昆虫を採餌ができるようになるが、両親に餌乞いを行い、たまに給餌されていた。この時期に給餌を行うのは雄の場合が多く、雌は幼鳥からの餌乞いを拒否することが多かった。巣立ち後4週間を過ぎた幼鳥は、成長の7～8割程度の効率で採餌が可能になった。

放鳥トキ個体群の定着に向けて

2012年に再導入したトキが野生下で繁殖が成功してトキの再導入プログラムは1歩前進したものの、2012年の雌あたりの繁殖成功率は19%（3♀/16♀）に過ぎない。中国洋県の野生個体群の産卵数あたり繁殖成功率は67%であり（丁 2004）、巣当たりでは90%を越えている（蘇 私信）。2012年の繁殖成功率（19%）を使って個体群存可能性分析モデル（永田・山岸 2011）を行なってみると、毎年10羽の放鳥を継続しないと個体群は存続できない（図5）。トキの個体群維持するためには、トキの生存率を高めると同時に野外での繁殖成功率を改善する必要がある（永田・山岸 2012）。トキの繁殖成績が中国の野生個体群と同等になるまで、放鳥個体群の性比を1:1に保ち、遺伝的多様性を維持しながら繁殖成績に応じて適正数を放鳥していく必要がある。

戦後、野生絶滅する前のトキは、人間による狩猟圧のため、小佐渡山中に逃げ込み、山間部の棚田で採餌していたため、観察が容易でなかった。また、研究者も含めた人の入山自体が自粛されていたため、絶滅する前のトキに関しては断片的な生態がわかっているに過ぎなかった。放鳥トキのモニタリング調査によって、トキの生態

の一部が明らかになってきているが、観察例数が少ないためまだ十分ではない。放鳥トキは、放鳥前に重要と考えられていた、かつての生息地である中山間地域の棚田ではなく、平野部の谷津田を好んで利用していた。トキの餌生物としてドジョウは重要ではあるが、水田が利用できない夏には、畦や路傍の草むらに生息しているミミズや昆虫が重要な餌生物となっていた。これまで、佐渡島では山間部を中心にピオトープを整備し、餌生物として、ドジョウ、カエル、バッタを増やすための自然再生が行われてきた。しかし、放鳥数が100羽を超えて生存個体数が60羽以上になり、放鳥トキも1年を通して国中平野を利用するようになり、朱鷺と暮らす郷認証米制度で餌生物を増加した平地の水田の重要性が大きくなってきている。

トキの野生復帰は、第2段階に突入したとはいえ、造成したピオトープはほとんど利用されず、夏には餌場が少なく、野外での繁殖成功率が低い等、まだまだ課題が多く残っている。少ない情報をもとにトキの野生復帰が開始されたが、これまで放鳥トキの生態からわかった情報を組み込んで再導入計画を軌道修正する必要がある。このように、新しく判明した情報をもとに手直しする順応的管理手法を採用して、野生復帰や自然再生の取り組みは進めていく必要がある。

謝辞

本論文で用いたデータの一部は、環境省佐渡自然保護官事務所から提供されたものを含んでいる。また、毎日、放鳥トキを追跡しているトキモニタリング専門家チームの方々に深甚の謝意を表す。本研究は、環境省地球環境研究総合推進費 F-072、日本学術振興会科研費基盤研究（B）課題番号21310149および日本学術振興会科研費基盤研究（A）課題番号24241011の補助を受けて行われた。

引用文献

丁 長青（2004）朱鷺研究。上海科技教育出版社，上海，388 p.（邦訳：山岸 哲（監訳）・蘇 雲山・市田則孝（訳）（2007）トキの研究。新樹社，東京，406 p.）
Greenwood PJ（1982）The natal and breeding dispersal of birds. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 1–21.
Hackett SJ, Kimball RT, Reddy S, Bowie RC, Braun EL, Braun MJ, Chojnowski JL, Cox WA, Han K-L, Harshman J, Huddleston CJ, Marks BD, Miglia KJ, Moore WS, Sheldon FH, Steadman DW, Witt CC, Yuri T（2008）A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *Science*, 320: 1763–1768.

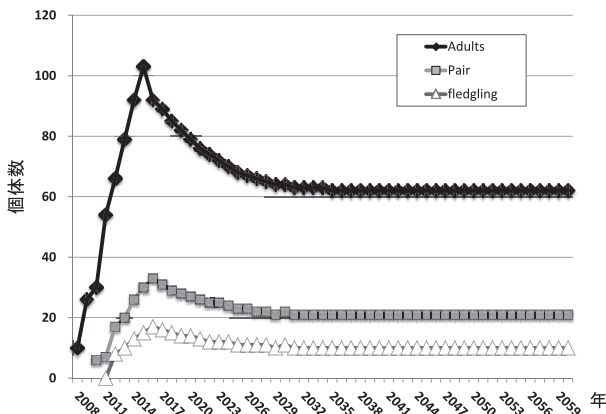


図5. 繁殖成功率18.8%の時に60羽以上の個体群を維持するPVAモデル。永田・山岸（2011）のPVAモデルにおいて $S_1 = 0.61$ 、 $S_0 = 0.49$ 、 $S_a = 0.79$ 、 $f = 0.19$ の時、60羽以上の個体数を維持するためには毎年10羽を放鳥し続ける必要がある。

- Kadoya T, Washitani I (2011) The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140: 20–26.
- 環境省 (2003) 佐渡地域環境再生ビジョン. 4 p. [http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=4440&hou_id=4017]
- 永田尚志 (2010) 佐渡島における放鳥トキの移動分散と採食行動. *環境研究*, 158: 69–74.
- 永田尚志 (2012) トキ (*Nipponia nippon*) の野生絶滅と野生復帰への道程. *日本鳥学会誌*, 61(特別号): 89–91.
- 永田尚志・山岸 哲 (2011) 新潟県佐渡におけるトキの再導入 個体群の存続可能性. *野生復帰*, 1: 55–61.
- 永田尚志・山岸 哲 (2012) 38年ぶりにトキの雛が巣立った. *科学*, 82(8): 833–837.
- 日本鳥学会 (2012) 日本鳥類目録改訂第7版. 日本鳥学会, 東京, 438 p.
- 農林水産省・国土交通省・環境省 (2004) トキ保護増殖事業計画. 告示第1号. 3 p. [<http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/toki2.pdf>]
- 長田 啓 (2012) トキ野生復帰事業の経過—事業の枠組み・推進体制を中心に—. *野生復帰*, 2: 89–101.
- 山階芳麿・中西悟堂 (1983) トキ *Nipponia nippon* 黄昏に消えた飛翔の詩. 教育社, 東京, 302 p.

(2012年12月15日受理)