



乾燥地フォトブックシリーズ vol.4
PHOTOBOOKS OF DRYLANDS VOL.4

乾燥地の 塩類集積

Salinization
in Drylands

鳥取大学乾燥地研究センター [監修]

山中典和・トデリッチ クリスティーナ 編

Norikazu YAMANAKA and Kristina TODERICH eds.



Arid Land Research Center, Tottori University



乾燥地フォトブックシリーズ vol.4

PHOTOBOOKS OF DRYLANDS VOL.4

乾燥地の Salinization in Drylands 塩類集積

INTRODUCTION

乾燥地フォトブックシリーズの刊行に寄せて

日本には砂漠も乾燥地も存在しません。しかし、乾燥地で生じているさまざまな問題は私たちの暮らしと無縁ではありません。私たちが日々口にする食料には乾燥地由来のものが多く含まれており、乾燥地での農業が干ばつ等により被害を受けると輸入国である日本にも影響が及びます。また、乾燥地で生じている問題が直接日本に影響を与える場合もあります。近年関心を集めている黄砂問題もその1例で、黄砂の発生にはモンゴルや中国の乾燥地における砂漠化や干ばつが大きく関わっています。さらに日本は、国際条約である「砂漠化対処条約」の締約国でもあり、国際社会の一員として乾燥地における問題に取り組む責務を負っています。

乾燥地フォトブックシリーズでは、乾燥地の自然や人々の暮らし、それに乾燥地で深刻化する、砂漠化をはじめとする諸問題を多くの写真を使って紹介します。写真は鳥取大学を中心とする乾燥地の研究者たちが、現地での研究の傍らに撮りためたものです。

本シリーズを通じ、乾燥地の、厳しいが素晴らしい自然、そこに生きる不思議な植物や動物たち、そして多様な人々の暮らしを楽しんでいただき、ひとりでも多くの方が乾燥地に興味を持っていただければ幸いです。

2016年10月

鳥取大学乾燥地研究センター センター長 山中典和

Preface for Photobooks of Drylands

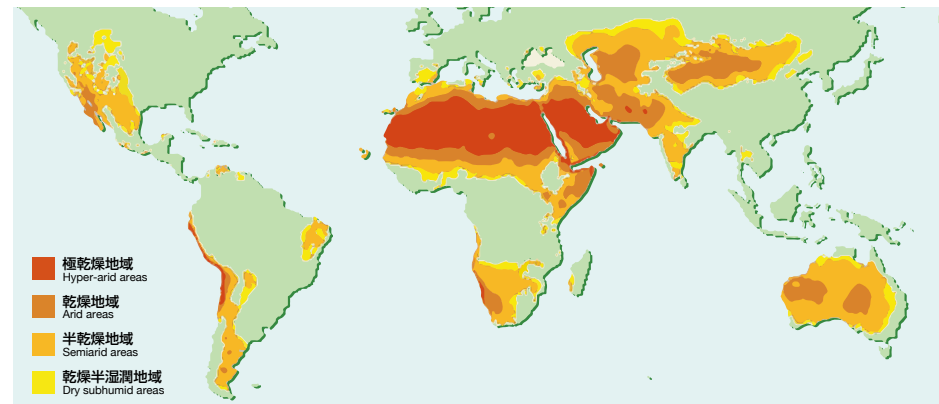
There are no deserts or drylands in Japan. However, many issues that drylands face are not completely irrelevant to our lives in Japan. Many food products consumed in Japan are produced in drylands, which means Japan -the importer of the food produced in drylands- will be severely affected when the agriculture of drylands gets distracted by crises such as drought. There actually are cases in which Japan can directly get affected by problems occurring in drylands. One of the best example is Asian dust emerged due to desertification and drought happening in drylands of China and Mongolia. Japan is one of the contracting states of the United Nations Convention to Combat Desertification. As a member of the international society, Japan must make contributions to combat challenges people in drylands are facing.

The Photobooks of Drylands will introduce the nature and lifestyles in drylands and various challenges emerging in drylands through the photographs taken by researchers who spends great deal of time in drylands. May this book stimulate your interests in intense yet beautiful nature, various lifestyles and unique species of drylands.

October 2016

Norikazu YAMANAKA

Director, Arid Land Research Center, Tottori University



乾燥地の分布（黒崎泰典作成）

Distribution of drylands (by Y.KUROSAKI)

乾燥地フォトブックシリーズvol.4

「乾燥地の塩類集積」の刊行にあたって

乾燥地では塩類の影響を受けた土地が広く分布しており、そこでは塩類が植物の生育に大きな影響を及ぼしています。塩類の影響を受けた土地では通常の植物は生育できず、塩を好む特殊な植物が生育する特異な生態系が出現します。本書では、乾燥地でみられる塩類集積を取り上げて、人々の暮らしとの関わりを紹介したいと考えています。塩類集積は自然現象としても存在しますが、人間活動によっても引き起こされます。人為的に引き起こされた塩類集積は乾燥地の農業に大きな被害を与えています。これが塩害問題です。人為的な塩類集積は世界中の乾燥地で生じていますが、特に中央アジアのアラル海流域では塩類集積問題が深刻で、塩害を受けた農地が広く広がっています。ここでは鳥取大学の研究者も含めて世界中の研究者が塩害の防止や、塩害を受けた農地の修復に取り組んできました。本書を通じて乾燥地に広がる塩の世界、そしてそこで行われている塩類集積地での持続可能な農業への挑戦に触れていただきたいと思います。

2020年3月 山中典和、トデリッチ クリスティーナ

Preface for Photobooks of Dryland Series vol. 4 “Salinization in Drylands”

Most commonly in drylands, the salinity levels are always high and evenly dispersed; due to this salinity levels the plant cultivated are usually tremendously affected. Normal plants cannot grow on soils with high salinity levels and soils with high salinity levels usually create a unique ecosystem that selects only for specific plant species. In this book, we would like to analyze the effect of human activities on the salinity levels of soils in drylands. Anthropogenic salt accumulation has severely damaged the agricultural potential of soils in drylands. Although anthropogenic salt accumulation happens in drylands around the world, the Aral Sea basin in Central Asia has been known to be a region where a serious salt accumulation problem occurs. In this region, salt-damaged farmlands are widely distributed, and researchers from around the world, including those from Tottori University, have been working relentlessly to restore salt accumulated lands in this region. This book seeks to inform its readers about the nature of salt accumulation in soils of drylands and the challenges faced in achieving a sustainable land with agricultural potential from salt affected soils.

March 2020 Norikazu YAMANAKA and Kristina TODERICH



INDEX

Part 1.

乾燥地に広がる塩の世界 (一次的塩類集積)

Salinization in Drylands
(Primary Salinization) 06

1.1 塩の集積を引き起こす特徴的地形
Geomorphology Associated
with Salinization 08

1.2 塩の影響を受けた土壌
Salt Affected Soils 14

Part 2.

塩類集積地に生きる植物 (塩生植物)

Halophytes Living in Salt Affected Lands ... 18

2.1 塩生植物とは?
Introduction to Halophytes 20

2.2 多肉化で塩を希釈する植物たち
Salt Succulence and Dilution of Salinity 22

2.3 塩を排出する植物たち
Salt Elimination 28

2.4 塩を体内に入れない植物たち
Salt Exclusion 34

2.5 海水に生きるマングローブ
Mangrove Trees 36

Part 3.

人間活動が引き起こす 塩の集積 (二次的塩類集積)

Salinization Caused by Human Activities
(Secondary Salinization) 40

3.1 農地の塩害
Agricultural Fields Damaged
by Salt Accumulation 42

3.2 二次的塩類集積のしくみ
Mechanisms of Secondary Salinization 44

3.3 塩害を受ける作物
Crops Damaged by Salt Accumulation 48

Part 4.

アラル海の危機

The Aral Sea Crisis 50

4.1 アラル海危機
～人によって引き起こされた環境災害
The Aral Sea Crisis
-Human Caused Environmental Disaster 52

4.2 アラル海の縮小と塩の集積
Shrinking Aral Sea and Salt Accumulation ... 54

4.3 新たに出現した生態系:
アラルクム(塩の砂漠)
Neo-Ecosystems : Aralkum (Saline Desert) ... 60



Part 5.

塩害の防止と緩和

Mitigation and Prevention Measures to
Combat Salinization 64

5.1 物理的手法
Physical Methods 66

5.2 化学的手法
Chemical Methods 68

5.3 生物学的手法
(ファイトレメディエーション)
Biological Methods (Phytoremediation) 70

Part 6.

塩生植物の利用と塩生農業

Utilization of Halophytes and
Biosaline Agriculture 78

6.1 塩生植物の利用
Utilization of Halophytes 80

6.2 塩生農業の可能性
Opportunities for Biosaline Agriculture 96



Part 1.

乾燥地に広がる 塩の世界 (一次的塩類集積)

SALINIZATION IN DRYLANDS
(PRIMARY SALINIZATION)

アメリカ・カリフォルニア州デスバレー。
Death Valley, California, USA.

塩の集積を引き起こす特徴的地形

Geomorphology Associated with Salinization

ブラヤの塩類集積

Salinization in Playa

乾燥地では、しばしば土壌表面に塩類が集積する現象が見られる。この塩類集積は、乾燥地農業における水管理の失敗から生じることが多いが、人の手の加わらない自然条件下でも、しばしば塩類の集積が生じる。自然条件下での塩類集積を「一次的塩類集積」と呼び、人間活動による塩類集積を「二次的塩類集積」と呼んでいる。一次的塩類集積には地形的な要因が深く関わっている。例えば、乾燥地でブラヤと呼ばれる、内陸部の浅い湖が干上がった場所では地表面への塩集積がよくみられる。このような内陸部の塩類集積のもとになる塩類は、塩類鉱物の風化や古い時代の海洋の影響等によってもたらされる。（文：山中 典和）

In soils of drylands, the occurrence of salt accumulation often appears normally on the surface of the soil. Salt accumulation often results from water management failure in agricultural lands, but salt accumulation in these soils has been known to also occur under natural conditions. Salt accumulation under natural conditions is referred to as “Primary Salinization”; while the accumulation of salt due to anthropogenic sources is called “Secondary Salinization.” Topographic factors are closely related to primary salinization. Salt accumulation on the ground surface is common in places called Playa where inland shallow lakes have dried up. Salts that are from such inland salt accumulated sites are brought about by weathering of salt minerals and the influence of oceans.

(Norikazu YAMANAKA)



ブラヤにみられる塩類集積（アメリカ、カリフォルニア州デスバレー）。

Primary salinization in Playa (Death Valley, California, USA).



ブラヤでは塩分濃度の濃い水が見られる（アメリカ、カリフォルニア州デスバレー）。

Primary salinization in Playa (Death Valley, California, USA).



塩類集積地の周囲には塩が好きな植物が生育している（アメリカ、カリフォルニア州デスバレー）。

Halophytes growing around salt accumulated areas in playa (Death Valley, California, USA).

涸れ川(Wadis)の塩類集積

Salt Accumulation in the Wadis

乾燥地では普段水が流れない“涸れ川”がよくみられる。このような涸れ川では、水が流れていなくても川底では地下水位が高いため、蒸発により地下から塩分濃度の濃い水が地表面に上昇してくる。このために川底では塩類の集積がよくみられることになる。

(文:山中 典和)

In arid regions, there are lots of “Wadis” where water does not flow. In such Wadis, even if the water remains stagnant, the groundwater level still remains high which causes large concentrations of salt to rise from the underground water bed to the surface as a result of evaporation, due to this salt accumulation is often seen at the bottom of the river.

(Norikazu YAMANAKA)



涸れ川の川底に集積した塩類(チュニジア南部)。

Salt accumulation in the Wadis (Southern Tunisia).



タクラマカン砂漠の涸れ川に生育する塩生植物(中国、新疆ウイグル自治区)。

Halophytes growing in the Wadi, Taklimakan desert (Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China).

塩湖：ヨルダンの死海

Salt Lake : The Dead Sea, Jordan

乾燥地では、しばしば塩濃度の濃い水からなる塩湖が見られる。塩湖の周辺では塩の集積がよく見られ、塩水を利用した塩の生産を行っている地域もある。アラビア半島のヨルダンとイスラエルに接する場所に位置する死海は代表的な塩湖である。死海の標高は世界で最も低いマイナス418mで、水の塩分濃度が濃く、場所によっては海水の約10倍もの濃度を示すことがある。このため、水の浮力が大きくなり、湖面に人が簡単に浮くことができる。また、濃い塩分濃度のため、湖岸には塩の結晶が形成される。乾燥地に位置する死海は、水を求めて多くの人々が集まる、観光や憩いの場となっている。（文：山中 典和）

Lakes with high salt concentrations are found most commonly in drylands. Salt accumulation is common usually around salt lakes, and some water bodies are prominent salt producers. The Dead Sea, located in the border of Jordan and Israel on the Arabian Peninsula, is a typical salt lake. The altitude of the Dead Sea is the lowest in the world, which is around -418 m. The salinity of its water is very high, and it may attain a concentration of about 10 times that of sea water. This makes the water more buoyant and makes it easier for people to float on the surface of the lake. In addition, due to its high salinity, there is usually the formation of salt crystals on the shores of the lake. The Dead Sea is known as a great place for sightseeing and relaxation. (Norikazu YAMANAKA)



湖岸に見られる塩の結晶（ヨルダン、死海）。

Salt crystals are frequently found on the shore of the lake (The Dead Sea, Jordan).



浮力が強く、簡単に人が浮く（ヨルダン、死海）。

Because the buoyancy is strong, people float easily (The Dead Sea, Jordan).



休日には多くの人々が集まる（ヨルダン、死海）。

The shores of the Dead Sea are a haven for many people (The Dead Sea, Jordan).

塩の影響を受けた土壌

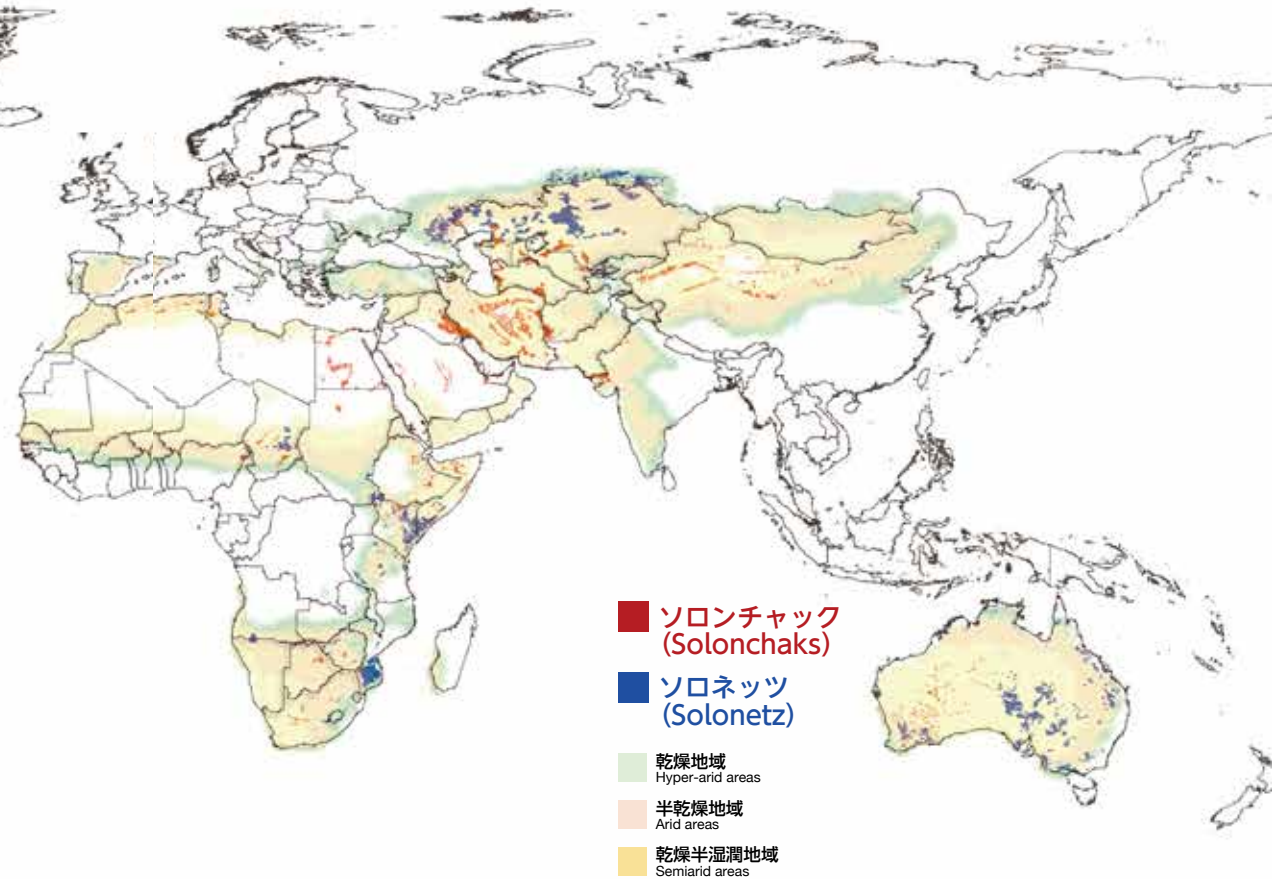
Salt Affected Soils

世界の塩類土壌分布

World Atlas of Salt Affected Soils

乾燥地には、塩類の影響を受けた土壌が広く分布している。それらの代表的なものがソロンチャックとソロネッツである。世界のソロンチャックの総面積は約2億6,000万ha(日本の国土の約7倍)、ソロネッツは1億3,500万ha(日本の国土の約3.6倍)と推定されている。これらの土壌は乾燥地において水が作用することによって生成される。ソロンチャックは、地表面からの蒸発散によって塩分を含む地下水の表層への移動が生じるような乾燥した環境(乾燥・半乾燥地域)で最も生成しやすく、アフリカ北部、中近東、旧ソビエト連邦、中央アジア、オーストラリア、アメリカ等に広く分布している。一方、ソロネッツは、ソロンチャックよりもやや雨の多い半乾燥地域の大陸性気候下(夏季の乾期と冬季の雨期、年降水量400～500mm以下)で生成し、ウクライナ、ロシア、カザフスタン、アメリカ合衆国、カナダ、南アフリカ、アルゼンチン、オーストラリア等に分布している。

(文:山本 定博)



Salt-affected soils are widely distributed in arid land, and Solonchaks and Solonetz is representative of them. The total space area of the world is estimated to be about 260 million hectares for Solonchaks and 135 million hectares for Solonetz, and their area corresponds to about 7 times and 3.6 times the land area of Japan, respectively. These soils are formed by the influence of water in arid environment. Solonchaks are most likely to form in arid/semi-arid environment, where enough evapotranspiration causes the water levels to move up from the groundwater due to capillary action. They are widely distributed in Northern Africa, the Middle East, the former Soviet Union, Central Asia, Australia, the United States, etc. On the other hand, Soronetz is formed under the continental climate (summer dry season and rainy winter season with annual rainfall less than 400 to 500 mm) in a semi-arid region with rather more rain than the area of Solonchaks, these zones are distributed in Ukraine, Russia, Kazakhstan, the United States, Canada, South Africa, Argentina, and Australia etc.

(Sadahiro YAMAMOTO)

代表的な塩類土壌 (ソロンチャックとソロネッツ)

Typical salt affected soils (Solonchak and Solonets)

■ ソロンチャック

ソロンチャックは、大量の塩類(主に塩化ナトリウム、硫酸ナトリウムなどのナトリウム塩)が表層あるいは土層中に集積している土壌である。典型的なものは、水とともに下層から上昇してきて析出した真っ白な塩で表層が覆われている。塩の過剰な集積のため、普通の植物は生育ができず、塩の環境に強い植物や塩を好む植物しか生育できない。ソロンチャックは、不適切な灌漑によって地下水位が上昇すると人為的にも生成され、世界の灌漑農地では、灌漑農業が始まった6,000年以上前の昔から現在に至るまで深刻な土壌劣化の原因になっている。(文:山本 定博)

■ Solonchak

Solonchaks are the soil in which a large amount of salts (mainly sodium salts such as sodium chloride and sodium sulfate) have been accumulated. Typically, the soil surface is covered with precipitated white salt that have risen by capillary action from the lower layer with water. Due to excessive accumulation of salt, ordinary plants (Glycophyte) cannot grow, this selects only for halophytes (plants with strong salt tolerant and/or high salt preference). Solonchaks are artificially (secondary) formed when groundwater level rises due to poor management of irrigational system, the process of soil salinization has been a serious cause of soil degradation for over 6,000 years in irrigated farmlands of the world. (Sadahiro YAMAMOTO)



ソロンチャックの土壌断面(チュニジア、ジェリド湖)。

Soil Profile of Solonchak (Chott el Djerid, Tunisia).

■ ソロネッツ

ソロネッツは、冬季の降水による塩類洗脱により塩類集積量は少ないが、下層土はナトリウムイオンの影響で強く締まった、柱状の構造を有している。また、多くは遊離の炭酸ナトリウムを含んでおり、強アルカリ性(pH>8.5)を示す。この土壌は堅くて透水性が悪い下層を有し、表層土が薄く、アルカリ性が強いため、その生産性は低い。この種の土壌の改良にはカルシウムの施用が効果的である。

(文:山本 定博)

■ Solonets

Solonetz have been known to possess low salt concentrations due to salt leaching in the winter/rainy seasons, but the sub-soil has a dense columnar structure that is tightened due to the influence of sodium ions. Most of them contain free sodium carbonate and show strong alkalinity levels (pH> 8.5). The productivity of Solonetz is low due to poor permeability of the sub-soil, insufficient thickness of surface layer and its strong alkalinity. The application of calcium salts is a proper means of improving for the efficacy of Solonetz.

(Sadahiro YAMAMOTO)



ソロネッツの土壌断面(ロシア、カルミキア)。

Soil Profile of Solonetz (Kalmykia, Russia).



ソロネッツ土壌に出現するまばらな植生(南ロシア)。

Sparse cover vegetation at Solonetz soils (Southern Russia).

塩類集積地に 生きる植物 (塩生植物)

HALOPHYTES LIVING IN
SALT AFFECTED LANDS

ジュンガル盆地の塩類集積 (中国、新疆ウイグル自治区)。
Salt accumulation in Jungal Basin (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).

塩生植物とは？

Introduction to Halophytes

ほとんどの植物は、塩分ストレスに敏感であり、遺伝的にも塩に対する耐性を持たない非塩生植物 (glycophytes) と呼ばれるものである。このような非塩生植物は、塩分が蓄積した環境では生育することが困難である。これに対し、塩分の多い環境下でも生育可能で、次世代を残せるような植物は、塩生植物 (Halophytes) と呼ばれる。また、塩生植物は、塩分が存在しない環境下よりも、塩分が存在する環境下で生育が良くなることから、好塩植物と呼ばれることもある。

塩生植物が塩分の多い環境で生育できる仕組みとして、塩分を制御する仕組みと、塩分に耐える仕組みの2つが知られている。塩分を制御する仕組みとしてはいくつか知られており、塩分が植物体内に入ってくないようにする「塩分排除」機能、体内に入ってきた塩分を体外に排出する「塩分除去」機能、そして体内で塩分濃度を低下させる「塩分希釈」機能などがある。

塩分に耐える仕組みとしては、体内に入ってきた塩分を細胞内の液胞と呼ばれる部分に隔離して、細胞内の重要な部分を守る仕組みが知られている。また、体内に入ってきたナトリウムイオンとイオンバランスの影響に対する耐性や、塩分の多い環境によって生じる高い浸透圧に対抗するため、体内に浸透調整物質と呼ばれる物質を溜め込むことも知られている。

(文:山中 典和)

Most plants are so-called “Glycophytes” due to their high levels of sensitivities to slight changes in salt concentrations. Such plant species are difficult to grow under saline conditions. On the other hand, plants that can grow and thrive comfortably under saline environments are called “Halophytes”; they are also referred to as “Salt-loving plants.”

There are two known mechanisms by which these plants species have been able to adapt to such harsh survival conditions: the mechanism to regulate salinity in the plant and the mechanism to tolerate salinity. As mechanisms

to regulate salinity in the plant, by “salt exclusion” functions to prevent the salt from entering the plant, “salt elimination” functions to discharge salt out of the plant, and the “salt dilution” aids to reduce salt concentration in the cells of the plants.

Several mechanisms to tolerate salinity have also been recognized. Firstly, is by protecting the important organelles in the cell by sequestering the salt in the vacuole of cell. Secondly, is the mechanism of resisting the impact of sodium ion and ion balance, and third is the mechanism of storing substances called osmolytes in the cells of the plants to counter the high osmotic pressure generated by the saline environment.

(Norikazu YAMANAKA)



ジュンガル盆地の塩類集積地に生育する塩生植物(中国、新疆ウイグル自治区)。

Halophytes growing in the salt accumulated area of Jungar basin (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).



ブラヤの塩類集積地に生育するヒユ科の塩生植物(アメリカ、カリフォルニア州デスバレー)。

Halophytes of the family Amaranthaceae which grow on the salt accumulation area of Playa (Death valley, California, USA).



塩湖の周辺に生育するヒユ科の塩生植物(チュニジア南部)。

Halophytes of the family Amaranthaceae which grow around salt lake (Southern Tunisia).



タクラマカン砂漠北部の塩類集積地に生育するタマリスクの仲間(中国、新疆ウイグル自治区)。

Tamarisk sp. growing in the salt accumulated area of northern Taklimakan desert (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).

多肉化で塩を希釈する植物たち

Salt Succulence and Dilution of Salinity

このグループの植物は最も典型的なタイプの塩生植物である、地下水位が高く、塩分の多い土壌(ソロンチャック-アルカリ性およびソロネツ土壌)に広く生育する。塩分を含む水を吸収し、体内に蓄積することができる。葉や茎は多肉性になり、水分を多く含む。多肉化により塩分を希釈し、蓄積した塩分の濃度を長期にわたりほぼ一定に保つことができる。また、葉や茎に蓄積された塩分は植物体内の浸透圧調整にも使われている。C3型とC4型の両方の光合成型を有する植物も多い。このグループにはヒユ科の植物が多く見られ、アツケシソウ属、アナバシス属、ハロスタチス属、ハロキシロン属、ハロクネナム属、クリマコプテラ属等の植物が典型例となる。この他、海岸に生育するマングローブ類にも、このグループに含まれる植物が存在する。

(文:山中 典和・トデリッチ クリスティーナ)

The plants of this group are the most typical types of halophytes, which grow widely in highly saline soils with shallow water (Solonchak-Alkaline and Solonetz soils). These plants can absorb salty water and accumulate it in its cells, so that its leaves and stems become turgid. This makes it possible to keep the concentration of accumulated salt nearly constant over a long period of time. In addition, the salt accumulated in leaves and stems is also used to adjust the osmotic pressure in the plant body. Many plants of this group have both C3 and C4 photosynthetic types. In this group, many plants are of the family Amaranthaceae, and plants of the genus *Salicornia*, *Anabasis*, *Halostachys*, *Haloxylon*, *Halocnemum*, *Climacoptera* are typical examples. Besides this, plants included in this group also exist in mangrove swamps that usually grows on the coast.

(Norikazu YAMANAKA and Kristina TODERICH)

ジュンガル盆地の塩類集積地に生育するアツケシソウ(中国、新疆ウイグル自治区)。

Salicornia europaea grown in the salt accumulated area of Jungal Basin (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).



■ アツケシソウ

浅い根系を持つヒユ科の1年生植物(高さ40~50cm)。海水(約35,000ppm)以上の塩分濃度に耐えることができ、熱帯の暖かい地域から寒い地域まで、世界中のほとんどの沿岸海洋環境や乾燥地の塩類集積地、アラブ地域の塩分が多いサバカと呼ばれる場所に分布する。塩分の多い土壌を好み、しばしば純群落を形成する。湿性の土壌に生育することが多く、海水に浸かっても生育することができる。

塩湿地を有する砂漠の牧草地で最もよく見られる飼料植物の一つで、初秋から冬にかけては、ウシ、ヒツジ、ヤギの良い餌になる。ラクダがこの植物を好むことが知られている。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

■ *Salicornia europaea* L.

An annual plant of the family Amaranthaceae with a shallow root system can normally tolerate salt levels greater than that of the sea water (about 35,000 ppm). The plant species have been known to grow in most coastal marine environments and sabkhas throughout the world, from warm tropical to cold zones. These plants have been known to prefer saline soils and would usually form pure communities thereafter. They are known to be one of the usually occurring forage plants of the natural salt marsh desert pastures. It is largely consumed by large horned cattle, sheep and goats in the early autumn/winter seasons usually by camels.

(Kristina TODERICH)



塩湿地の周辺にはアツケシソウが優占する植物群落が成立する(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

A plant community dominated by *Salicornia europaea* is established around salt marshes (Kyzylkum desert, Uzbekistan).

■ アナバシス サルサ

ヒユ科の多肉性低木(10~60cm)。中心部に堅い木質部分をもつ多肉質の茎を有する。石膏を多く含むアルカリ性の草原の塩性湿地や、砂漠の塩性土壌に生育する。モンゴル、中央アジアからモロッコまで分布し、ラクダにとって最高の放牧地植物の一つ。すべての季節において良い飼料となるが、特に秋から冬にかけては重要な餌植物となる。ヒツジ、ヤギ、ウマにとっては早春や秋の飼料となる。アナバシスの新鮮な飼料には、アルカロイド、シュウ酸塩、配糖体、タンニン、ポリステロールなどの二次代謝産物、大量のミネラル塩(45%の可溶性塩)が含まれている。また、薬として使われるアナバシンの抽出用に広く利用されている。さらに地上部から抽出された産物は農薬としても使われる。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

■ *Anabasis salsa* (CAM) Benth

Small succulent shrub (Height: 10-60cm) of Amaranthaceae. The shape of this plant species is almost spherical and possesses succulent stems with a strong woody ramified section in the center. They have been known to exist on alkaline meadow salt marshes, sandy desert saline soils with high content of gypsum. It is one of the best pasture grazing plants for camels in all seasons from Mongolia, Central Asia to Morocco, most preferable in the autumn and winter seasons as fattening forage. Sheep, goat and horses mostly consumes this plant in the early spring and autumn. Fresh forage of *Anabasis* contains high quantity mineral salts (45% of soluble salts) and secondary metabolites, such as alkaloids, oxalate, glycosides, tannins and polysterols. The extract from this plant is used as medicine while extract from biomass is used as pesticides.

(Kristina TODERICH)



石膏を多く含む塩性土壌に生育するアナバシス サルサ(上)。アナバシスサルサの果実(左)(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

A. salsa growing in high gypsum content saline soil (top). Plants are in fruit formation and seed maturation stages (Left). (Kyzylkum desert, Uzbekistan).



■ ハロスタチス カスピカ

高さ約2.5mに達するヒユ科の低木。多肉性で、多関節、そして細かく分岐する枝を有する。粘土質の塩性湿地やソロンチャック-アルカリ土壌で良く生育し、パッチ状に分布する。アラル海の干上がった湖底で、湿った塩湿地のソロンチャック-アルカリ土壌で成長する。放牧地での飼料植物としての価値は低い、秋の雨が過ぎた後や雪に覆われた冬には、ラクダに食べられることもある。塩分を吸収して植物体に蓄積させるため、塩分濃度の高い土壌を修復するための優れた塩分除去植物として利用される。牧畜民は、乾かして薪としても利用する。装飾的で薬用価値が高く、カリウム源として工業的に利用される。また植物からの抽出物は強い殺虫性を持っている。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

■ *Halostachys caspica* (Pall) C. A. Mey. ex Hohen.

Shrubs (up to 2.5 m in height) of Amaranthaceae with succulent fleshy, articulate and ramified branches. This plant species has been known to occur mostly in clusters, individually or in patches on wet compact and muddy salt marsh. This unique plant is able to grow on wet salt marsh (Solonchak-Alkaline) soils of the Aral Sea dry bottom. This plant has poor grazing value on pastures. Sometimes it is eaten by camels after the autumn/rainy seasons or the stormy winter. This plant is known to absorb and accumulate high concentrations of salt, which makes it a good choice as Phyto-Meliorant. Local pastoralists frequently makes use of its stems as wood fuel when it is dry; It is also valued for its high decorative and medicinal potential and as source of potassium extraction. Extract from this plant have also been known to possess strong insecticidal properties.

(Kristina TODERICH)

■ ハロクネナム ストロビラセウム

高さ10~40cmのヒユ科の多肉性低木。塩湿地や砂質の塩性土壌に生育し、高塩分土壌へ最初に侵入する植物種。内陸水域、湖、海岸などの干上がった底に分布する。通常の成長と種子生産のために土壌中の塩が必要。塩生牧草地の修復に使用される。ラクダは秋から冬にのみこの植物を食べるが、他の家畜が食べることはない。(文:トデリッチ クリスティーナ)

■ *Halocnemum strobilaceum* (Pall) M.Bieb.

Succulent small shrub (Height 10-40 cm) of Amaranthaceae grown in wet salt marshes and saline sandy soils. It's an excellent prime colonizer of highly saline soils. The plant species occurs frequently at the dry bottom sections of inland water bodies, lakes, seashores etc. They have been known to possess high salt demand for normal growth and the production of seeds. It is used in the rehabilitation of halophytic pastures; Grazed mainly by camels only in autumn- winter seasons.

(Kristina TODERICH)



塩類集積地に生育するハロスタチス カスピカ。カラブサ定住区近辺では燃料としてよく用いられる(ウズベキスタン、カラカルバクスタン)。

Halostachys caspica is the colonizer of salts affected soils; used by local pastoralists as fuel, near Karabuga settlement. (Karakalpakstan, Uzbekistan)



塩類集積地に生育するハロクネナム ストロビラセウム(ウズベキスタン)。

Halocnemum strobilaceum growing in salt affected soils.(Uzbekistan).

■ ハロキシロンの仲間

ヒユ科のハロキシロン属は、高さ1～8mに達する低木～小高木で、塩分を含む様々な立地(砂地や丘陵地の窪地、涸れ川の川床等)に生育する。モンゴル、中国から北アフリカまで広く分布する。当年生の枝は緑色で多肉質。葉は退化し鱗片状となる。根は地中深くまで伸長し、地下水を利用することができる。寿命は長く、50～90年は生きる。あらゆる種類の砂漠の動物にとって最も好ましい飼料植物の一つで、特にラクダは好んで食べる。乾燥地の植林によく利用され、防風林や砂防林として使われる。また、塩分の多い環境でも良く生育するため、塩類集積地での植林にもよく用いられる。また、木材は燃料としても利用される。緑色の若い枝から作られる灰(イチカラ)はウールの染色に広く使用される。

(文: トデリッチ クリスティーナ・山中 典和)

■ *Haloxylon* spp.

The plants of *Haloxylon* species are shrubs or small trees (Height: 1 to 8 m) of Amaranthaceae, and grow on the depressions of sandy beds and hillocks with a variable salt content, as well as on the valleys and bed of old rivers. These plant species are widely distributed from Mongolia, China to North Africa. The branches in the current growth year are green and succulent. The leaves then degenerate and become scaly. Its roots extend deep into the ground and utilizes ground water. Longevity is about 50-90 years. *Haloxylon* is one of the most preferable forage plants for all kinds of desert animals, and is frequently used for the creation of sand-fixing and wind-protective artificial shelter belts in the desert areas. In addition, these plants grow well in salty environments, so these play a major role in afforestation of salt-affected lands. Wood is used for timber production while the locals use it as a source of fuel. Ash from its green younger branches (Ichkara) is used widely for dyeing wool due to its dark brown color.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)



タクラマカン砂漠北部の塩類集積地に生育するハロキシロン アモデンドロン(左)とその果実(右)(中国、新疆ウイグル自治区)。

Haloxylon ammodendron (left) and fruits (right) growing in salt accumulation areas in the northern part of the Taklimakan Desert (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).



村落内に生育するハロキシロン アフィラム(上)と果実をつけた1年生の枝(下)。若い枝は多肉質になっている(ウズベキスタン)。

Haloxylon aphyllum growing in the village (top), and the branches of the current year with fruits (bottom). The young branches are fleshy (Uzbekistan).

塩を排出する植物たち

Salt Elimination

塩生植物の中には、塩を含んだ水を根から吸収し、体内に入ってきた塩分を積極的に体外に排出する「塩分除去」機能をもつ植物がある。塩を体外に排出する方法としては、塩腺と呼ばれる特殊な組織から濃い塩水を体外に排出するタイプや、塩分を蓄積した特殊な毛(塩毛)を脱落させることにより、塩分を除去するタイプなどが存在する。塩腺をもつ塩生植物としては、タマリスク属の樹木、イネ科のアエルロプス属やスバルチナ属、リモニウム属、そして海岸に生育するマングローブの仲間のアビシニア属の樹木等がよく知られている。塩毛を持つ植物としては、ヒユ科のアトリプレックス属、サルソラ属が知られている。この他、塩を含む古い葉や枝などを脱落させることにより塩を排出する植物も存在する。

(文:山中 典和)

Among halophytes, there are plants having a “salt elimination” functionality to actively discharge salt that has entered into the plant. As a mechanism for discharging salt out of the plant, there is a plant type in which concentrated saline water is discharged from a special tissue called the salt gland, or a type in which salt is discharged by shedding special hair that has accumulated salts. Well known examples of halophytes having salt glands include plants of the *Tamarix* of Tamaricaceae, *Aerolopus* and *Spartina* of the family Gramineae, *Limonium* of Plumbaginaceae, and *Avicennia* of mangrove plants growing in coastal areas, etc. As halophytes having special hairs that accumulate salt, the genus *Atriplex* and *Salsola* of Amaranthaceae are well known. There are also plants that discharge salt by dropping old leaves and branches that contain salt.

(Norikazu YAMANAKA)

■ 塩腺を持つ塩生植物：タマリスク

タマリスクはギョリュウ科の落葉または常緑の樹木で、ユーラシアから北アフリカの乾燥地に約50種ほど知られている。近年では北アメリカの乾燥地にも分布を広げている。樹高1～2mの低木が多いが、中には10mを超す種も存在する。葉は小さく鱗片状。ピンク色の美しい花を咲かせる種が多い。一般に乾燥や塩性環境に生育する。特に塩が蓄積した土壌に良く生育する。塩を含んだ水を根から吸収し、葉に存在する塩腺から高濃度の塩水を排出する。乾燥地の緑化によく使われ、特に塩類土壌での植林に適している。(文:山中 典和)

■ Halophytes with salt glands : *Tamarix*

Tamarisk species are deciduous or evergreen trees belonging to family Tamaricaceae; about 50 species are known, mainly in the drylands from Eurasia to North Africa. In recent years, the distribution has spread to arid areas in North America. There are many shrubs with a tree height of about 1 -2 m, but some species exceed a height of about 10 m; its leaves are small and scale-like and most species have beautiful pink flowers. Generally grown in a dry or saline environment. Tamarisk absorbs salty water from the roots and drains high concentrations of saline water from the salt glands on the leaves. Tamarisk species are often used for afforestation in drylands, and is particularly suitable for planting in salt accumulated soils.

(Norikazu YAMANAKA)



タクラマカン砂漠北西部の塩類集積地に生育するタマリスクの仲間(*Tamarix hispida*) (中国、新疆ウイグル自治区)。

Tamarix hispida growing in the salt accumulated area of north-west Taklimakan desert (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).



美しいピンクの花を咲かせるタマリスクの仲間(*Tamarix hispida*) (ウズベキスタン)。

Tamarix hispida with beautiful pink flowers (Uzbekistan).

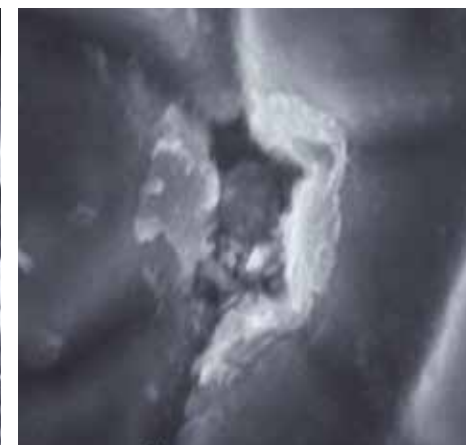
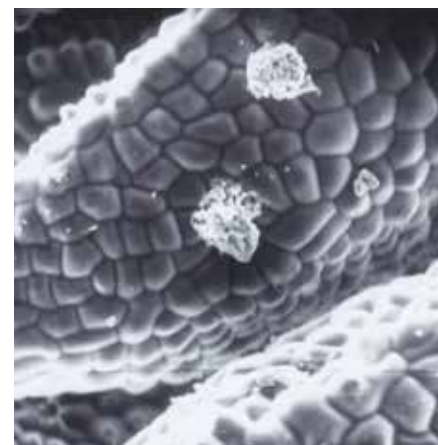
タマリスクの塩腺からの塩水分泌

Secretion of saline water by salt glands in Tamarisk



塩腺から高濃度の塩水が分泌され、それが乾くと葉の表面に塩の結晶が残る。

Salt glands secrete high concentrations of saline water. After drying, salt crystals remain on the surface of the leaves.

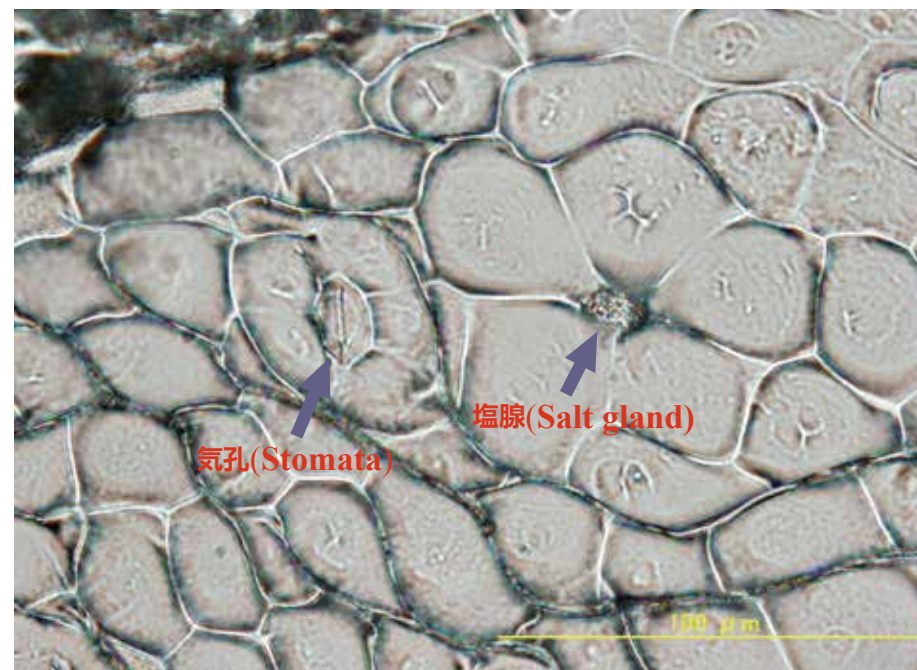


タマリスクの葉の走査電子顕微鏡写真。表面に残る塩の結晶。

Scanning electron micrograph of tamarisk leaves. Crystals of salt remain on the surface of the leaves.

塩の結晶を除くと、下には塩腺がある。

When salt crystals are removed, there is a salt gland below.



タマリスクの葉の光学顕微鏡写真。左が気孔で、右側が塩腺。

Optical micrograph of tamarisk leaf. The left is a stomata and the right is a salt gland.

■ 塩を蓄積する毛を持つ塩生植物：サルソラ

ヒユ科に属する最大かつ経済的に非常に重要な属の1つで、1年生植物、矮性低木および樹木種が含まれる。サルソラにはC3とC4の両方の光合成タイプを持つ300以上の種があり、それらはアフリカ、中国、モンゴル、中央アジア、イラン、地中海地域、そしてヨーロッパの乾燥地域と半乾燥地域に広く分布する。サルソラは塩生植物で塩が集積する土地で良く育つ。葉に、塩を蓄積する特殊な毛を有する種も存在する。大部分の種は高い飼料価値と豊富な種子生産能力を有する。このため、サルソラは劣化した塩性土壌の修復によく使用される。また、劣化した放牧地の生産性向上、アグロフォレストリー、砂漠での砂固定プログラムの植林などにも広く利用される。

(文: トデリッチ クリスティーナ・山中 典和)

■ Halophytes with salt accumulating hairs : *Salsola*

Salsola is one of the largest and economically important genera belonging to the Amaranthaceae family; it includes annual plants, dwarf shrubs and tree species. *Salsola* has more than 300 species with both C3 and C4 photosynthetic types, which are widely distributed in arid and semi-arid regions of Africa, China, Mongolia, Central Asia, Iran, the Mediterranean region, and Europe. *Salsola* as a halophyte has species with special hair that accumulates salt on its leaves. Most species of *Salsola* possess high feed value and abundant seed production capacity. Because this, *Salsola* is often used to remediate degraded saline soils. In addition, it is widely used for productivity improvement of degraded pastureland, agro-forestry, afforestation, for sand fixation program in the desert, etc.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)



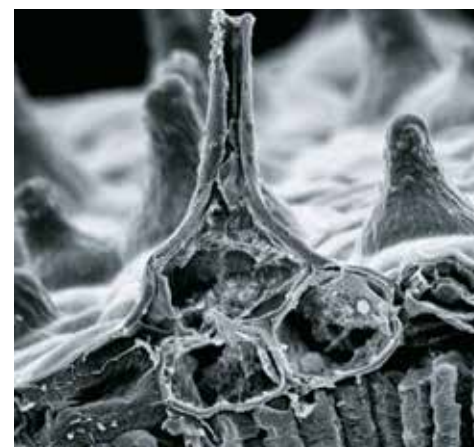
塩類が集積した放棄地に生育するサルソラ スクレランタ(左)、つぼみを有する枝(上)(ウズベキスタン)。

Salsola sclerantha growing in salt-affected abandoned lands (left) and branches at budding stage (top) (Uzbekistan).



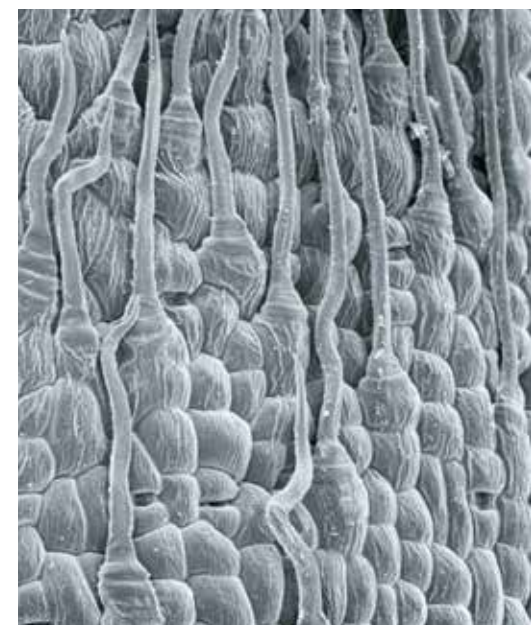
種子および果実の成熟段階にあるサルソラ スクレランタ；肉質の葉は単細胞の毛で密に覆われている(ウズベキスタン)。

Salsola sclerantha at seed and fruit maturation stage; fleshy leaves are densely covered with unicellular hairs (Uzbekistan).



サルソラ プラエコックスの表皮細胞上に存在する、塩分を蓄積する塩毛の走査型電子顕微鏡写真。

Scanning electron micrograph of salt accumulating hairs on the epidermal cells of *Salsola praecox*.



塩を体内に入れない植物たち

Salt Exclusion

塩類の影響を受ける土地に生育する塩生植物の中には、塩分が植物体内に入っていないようにする「塩分排除」機能を持つ植物が存在する。これは、根から塩分を含む水を吸収しても、根や茎の中にある輸送障壁により、塩分がほとんど葉に到達しない仕組みである。このような種では根や茎の上部に含まれる塩分濃度が高くても、葉等にはほとんど塩分が含まれない。海岸域に生育するマングローブの仲間がこのような仕組みを持つことはよく知られているが、内陸乾燥地に生育する塩生植物でも塩分排除機能を持つ種は多い。最も典型的な種はイネ科のアシである。 (文: 山中 典和)

Among the halophytes that grow in salt-affected lands, some plants have a “salt exclusion” function to prevent salt from entering the plant. These plants have a mechanism in which even if it absorbs water containing salt from the root, the salt hardly reaches the leaves due to the transport barrier in its roots and stem. In such plant species, the leaves contain almost no salinity even if the salinity in the roots and stems is high. It is well known that mangrove trees growing on the coast have such a mechanism, but there are many salt plants that have a function of “salt exclusion” even in the inland drylands. The most typical species is the common reed (*Phragmites australis*) belonging to Poaceae (Gramineae) family (Norikazu YAMANAKA)

■ アシ

アシまたはヨシはイネ科の多年生草本で、世界中の温帯から熱帯域の水辺に生育する。乾燥地においても川辺や湖岸に生育する。塩分の影響にも強く、塩湿地や塩類集積地でも良く生育する。塩分排除機能を有する植物で、根に輸送障壁が存在する。このため、塩類集積地に生育し、根の塩分濃度が高くても、茎や葉にはほとんど塩分が含まれない。一般的なアシは優良な飼料であり、それは葉、建築資材として使用することができる。また、アシは優れた浄水能力を有し、湿地の修復等によく利用される。 (文: トデリッチ クリスティーナ)



ジルトアルバス湖の湖岸に成立する密度の高いアシ群落(ウズベキスタン、カラカルパクスタン)。

Dense Common reed community at Jiltarbas Lake shore (Karakalpakstan, Uzbekistan).

■ Common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud)

Common reed is perennial plant of the Poaceae family; it is widely distributed in temperate to tropical wetlands around the world. It also grows on riversides and lake shores in arid areas. Resistant to the influence of salinity, it grows well in salt marshes and salt accumulated lands. Common reed is a plant having “salt exclusion” function, and transport barriers exist in its roots; for this reason, even if the salt concentration in the root is high, the stems and leaves contain almost no salt. Common reed is a palatable forage and it can be used as medicine, construction materials. Common reed also has good water-cleaning capacity and is often used for the restoration of wetlands.

(Kristina TODERICH)



タクラマカン砂漠北部の塩類集積地に生育するアシ。高塩分土壌に生育しているにもかかわらず、葉には塩分がほとんど含まれない(中国、新疆ウイグル自治区)。

Common reed that grows in salt accumulated areas in the northern part of the Taklimakan Desert. Despite being grown in high salinity soil, the leaves contain little salt (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).



湖岸侵食を抑制するために湖のほとりに生育するアシ群落。アシはラクダの餌にもなる(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Common reed at the shore of the Aygakitma Lake to control shore erosion. A common reed can also feed the camel (Kyzylkum Desert, Uzbekistan).

海水に生きるマングローブ

Mangrove Trees

マングローブ植物は、世界の熱帯から亜熱帯の河口域や海岸域に生育する植物の総称で、世界に100種類ほど存在するとされる。樹木ではヒルギ科、クマツヅラ科、ハマザクロ科に属する種が大部分である。乾燥地ではアラビア湾から紅海、北アフリカ沿海部にヒルギダマシ属の樹木が広く分布する。マングローブ樹木は海水に浸かって生育するため、高塩分環境に対して適応しており、塩分排除機能を持つ樹木や、塩分除去機能を持つ樹木が知られている。また、河口付近の泥地に生育するため、根域は嫌気環境となる。このため独特の根系を持つ種が知られる。マングローブ樹木は海岸で森林を形成することから、防災や生物多様性の保全上重要である。(文:山中 典和)

Mangrove is a generic name for plants that grow around the mouth of rivers and coastal areas from tropical to subtropical regions of the world, and about 100 species are known in the throughout the world. Most of the mangrove trees are species belonging to the family Rhizophoraceae, Verbenaceae and Sonneratiaceae. In drylands, trees of the genus *Avicennia* are commonly distributed along the Arabian Gulf, the Red Sea and along the coastal areas of North Africa. Since mangrove trees grow normally in sea water, they are adapted to high salinity environments, and these trees are known to possess "salt exclusion" function; while those with "salt elimination" function are also known. In addition, mangrove trees are also grown in mud soils near the river mouth, so the area around the roots is in an anaerobic environment. For this reason, species with unique root systems are known. Mangrove trees are important for disaster prevention and biodiversity conservation because they form forest ecosystems on the coast. (Norikazu YAMANAKA)



紅海沿岸で、海水に浸かって生育するヒルギダマシ(スーダン、ポートスーダン)。

Avicennia marina growing in sea water of the Red Sea (Port Sudan, Sudan).

■ ヒルギダマシ

ヒルギダマシはクマツヅラ科に属する常緑樹木で、世界の熱帯から亜熱帯の河口域や海岸域に広く分布する。アラブから北アフリカの乾燥地では海岸生態系を形成する重要な樹種である。強い耐塩性を有し、海水に浸かった状態で良好な生育を示す。葉に塩腺があり、塩水を分泌する。根は嫌気環境に置かれているため独特の形態を持つ呼吸根が発達する。ヒルギダマシの葉はラクダの貴重な飼料として用いられる。また海岸林を形成するため沿岸域の生物多様性を保全するうえで重要な樹木となり、沿岸漁業にとっても重要な樹種である。このため、アラビア湾岸でもしばしば植林されている。(文:山中 典和)

■ *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.

Avicennia marina is an evergreen tree that belongs to the Verbenaceae family, and it grows around the mouth of the river and coastal areas from tropical to subtropical regions of the world. It is an important tree species that forms coastal ecosystems in the arid areas of the Arab and North Africa. It is known to possess strong salt tolerance and grows well in sea water. It possesses salt glands on the leaves and secretes saline water. Since the roots grow under an anaerobic environment, respiratory roots with unique morphology often develop. Leaves are often used as a valuable feed for Camels. In addition, it is an important tree for preserving the biodiversity of the coastal area because it forms a coastal forest, and is an important tree species for coastal fishery. Because of this, it is often planted along the Arabian Gulf. (Norikazu YAMANAKA)



ヒルギダマシの花(左)と果実(右)(アラブ首長国連邦)。

Flowers (left) and fruits (right) of *Avicennia marina* (UAE).



葉の塩腺から分泌された塩分(右)と実生(左)(アラブ首長国連邦)。

Salt secreted from the salt glands of the leaves (right) and seedlings (left)(UAE).



紅海沿岸に生育するヒルギダマシの葉を食べるラクダ(スーダン、ポートスーダン)。

A camel eating leaves of *Avicennia marina* growing in sea water of the Red Sea (Port Sudan, Sudan).



ビニールポットで育成されるヒルギダマシの苗(アラブ首長国連邦)。

Seedlings of *Avicennia marina* grown in plastic pots (UAE).



アラビア湾岸に植栽されたヒルギダマシ(アラブ首長国連邦)。

Avicennia marina planted along the coastal areas of the Arabian Gulf (UAE).



海水で育つヒルギダマシは養魚場で使われる海水の養分や塩分除去に使われる(アラブ首長国連邦)。

Avicennia marina is used to remove nutrients and salt from used seawater in fish farms (UAE).

人間活動が 引き起こす 塩の集積 (二次的塩類集積)

SALINIZATION CAUSED
BY HUMAN ACTIVITIES
(SECONDARY SALINIZATION)

3年前までは畑、でも今は、塩の集積(カザフスタン)。
Abandoned Salt-affected field (Kazakhstan).

農地の塩害

Agricultural Fields Damaged by Salt Accumulation

土地や水資源の不適切な管理によって引き起こされる二次的塩類集積は世界的な課題である。特に、灌漑農業のための水資源の不適切な管理、排水システムの不十分な機能の結果として、乾燥地の農地を中心に二次的塩類集積が発生している。その典型的な事例は中東、中国の北平原、中央アジア、カリフォルニア州サンホアキン渓谷、コロラド川流域で見ることができる。このように二次的塩類集積は、人間の活動によって引き起こされる土壌中の塩の蓄積を指し、最終的には作物に損害を与え、収量を大幅に減少させてしまうことになる。

(文: トデリッチ クリスティーナ・山中 典和)

Secondary salinization caused by anthropogenic impact including improper management of land and water resources is a problem worldwide. This mostly occurs in arid/semi-arid agricultural lands as results of mismanagement of water resources for irrigation and poor function of drainage system. This has notably been a case in the Middle East, in China's North Plain, in Central Asia, in the San Joaquin Valley of California, and in the Colorado River Basin. Secondary salinization refers to an accumulation of salts in soil caused by human activities, eventually causing damage to the traditional crops leading to significant decrease in the yield of crops.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)



塩類集積により25年以上放棄されている農地(カラカルパクスタン、カラウジヤック)。

Abandoned farmlands by salt accumulation (unused for more than 25 years) (Karaulyak, Karakalpakstan).



塩類集積による深刻な影響を受けた土地(カラカルパクスタン、コイバック農場)。

Household lands severely affected by salinity (Koybak Farm, Karakalpakstan).



塩類集積により放棄された水田(トルクメニスタン、ダシャウズエトラップ)。

Waste saline rice fields affected by salinization (Dashauz etrap, Turkmenistan).

農地で生じる塩類集積や湛水(ウォーターロギング:過湿状態)は、乾燥地で栽培されている綿や小麦の生産に大きな影響をおよぼす問題であり、これらによる急速な土地の劣化によって農場の収入は過去数十年減少を続けている。塩類が集積した土壌で塩に弱い作物を栽培するためには、化学肥料の投入、費用をかけて塩分を洗い流すリーチング、そして塩分濃度の高い水を積極的に排水することが必要となる。しかし、根域で再び塩類集積が生じるリスクが残るため、土壌中における高濃度の塩分集積を避けるためには収穫期ごとにリーチングを繰り返す必要がある。また、有用な野生の塩生植物や新しい耐塩性作物を塩類集積地に導入することも試みられているが、栽培技術の開発や種子増殖技術の発展が必要となる。

(文: トデリッチ クリスティーナ・山中典和)

Waterlogging and salinization are major problems affecting cotton and wheat growing in drylands. Rapid land degradation over last decades has led to declining farm incomes. Cultivation of salt sensitive agricultural crops on saline soils requires inputs of chemical fertilizers and costly leaching and intensive drainage. This strategy, however, increases the risk of re-salinization in the root zone and the leaching process must be repeated each cropping season in order to avoid the build-up of high salt concentration. The introduction of native wild value halophytes and new salt tolerant crops varieties/improved genetic lines into marginal areas require a comprehensive understanding of alternative techniques of crops cultivation and seed multiplication.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)

塩害を受けたワタ畑(中国、新疆ウイグル自治区)。

Cotton field damaged by salt (Xinjiang Uygur Autonomous Region, China).

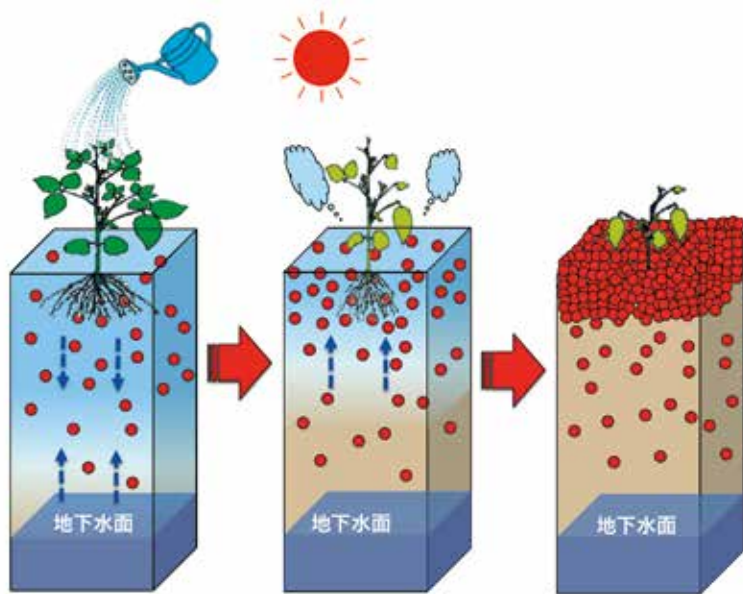


二次的塩類集積のしくみ

Mechanisms of Secondary Salinization

乾燥地では降水量が少ないため、農業を持続的に行うためには灌漑が必要となる。しかし、排水性の悪い環境下で大量の水を供給するなどの不適切な灌漑を行うと、過剰な水が土壌断面内に地下水として停滞する。そして地下水は土壌中の塩類を溶解しながら、土壌中の微細な隙間によって地表面まで繋がってしまう。地表面で水が蒸発すると、下層から塩類を含んだ水が土壌表面に上昇する。地表面では水のみが蒸発するために、水に溶けていた塩類は土壌表面に集積し、塩類集積土壌が生成する。そして、集積塩類量が多い場合には作物栽培は不可能となる。(文:遠藤 常嘉)

Irrigation is necessary for sustainable agriculture in drylands due to their low water content. However, salty groundwater may reach the upper soil layers as a result of lack of a proper drainage system supplying large amount of irrigation water. Elevated groundwater dissolves the salt and the solutes are transported upward by capillary transport toward the root zone by evapotranspiration. Water evaporates and is utilized by the plants whereas the salts are precipitated close to soil. This leads to the formation of salt-affected soil and reduces crop yield during cultivation. (Tsuneyoshi ENDO)



不適切な水管理による塩類集積。
Soil salinization by inadequate irrigation.



塩類集積放棄農地(カザフスタン共和国)。
Abandoned salt-affected field (Republic of Kazakhstan).



塩類集積放棄農地の土壌断面(カザフスタン共和国)。
Soil profile of abandoned salt-affected field (Republic of Kazakhstan).

塩類集積土壌は集積している塩類の量と組成によって、分類されている。多量の可溶性塩類の集積により特徴付けられるのが塩性土壌であり、塩類の組成で特徴付けられる土壌がソーダ質土壌である。ソーダ質土壌は、土壌中に多量のナトリウム塩が含まれている土壌で、土壌が固くなって根が伸びなくなる、土壌がアルカリ性になって作物に必要な養分が吸収できない、などの栄養障害が生じる。

(文:遠藤 常嘉)

There are two chemical criteria in the definition of salt-affected soil, these are: the solubility of accumulated salts and the ion concentration within the soil solution. Saline soil is characterized by the accumulation of large amounts of soluble salts and is generally known as accumulated salt soil. Another salt-affected soil known as “Sodic Soil” is characterized by the composition of its salts. Sodic soil contains a large amount of sodium ions and causes deterioration of the physical properties of the soil along with the collapse of soil structure and if it progresses to a phase of alkalinity, it comprehensively worsens the soil environment and significantly inhibits crop growth as a consequence of clay dispersion and inhibits nutrient absorption due to high pH.

(Tsuneyoshi ENDO)



ソーダ質化した農地。表面がクラストで覆われている(メキシコ合衆国)。

Sodicized field. The surface is covered with crusts (United Mexican States).



土壌がアルカリ性となり、クロロシスが発生した桃の葉(中華人民共和国)。

Peach leaves affected by chlorosis under alkaline soil (People's Republic of China).

乾燥地域の灌漑農業においては、塩類集積が作物生産の最大の制約となっている。ここ数十年、土壌塩類化につながる慣行法は避け、新しい作物の開発、作物内の遺伝的変異の探求、塩類土壌の管理のための農学的技術の開発などの進歩が認められ、全ての土壌修復を行わなくとも、生産性を維持している。

(文:遠藤 常嘉)

In irrigated agricultural soils, salt accumulation is becoming the largest productivity constraint in the arid regions. In recent decades, the conventional practices that lead to soil salinization have been avoided and some progress have been made, including developing new crops, exploring genetic variation within crops and developing agronomic techniques for the management of salt-affected soils so they remain in production without requiring complete restoration.

(Tsuneyoshi ENDO)



塩が析出したトウガラシ農地。点滴チューブに沿って、塩が析出している(メキシコ合衆国)。

Chile farmland with accumulated salts. Salts are precipitated along the drip tube (United Mexican States).



ソーダ質化が併発した塩性農地。乾燥によって、表面にひび割れが生じている(カザフスタン共和国)。

Salinized farmland accompanied with soil sodication. The surface is cracked by drying (Republic of Kazakhstan).



塩害を受ける作物

Crops Damaged by Salt Accumulation

土壌溶液の塩分濃度が高いと、作物の根は吸水することができなくなる(浸透圧ストレス)。また塩分が作物体内に侵入すると代謝が乱れる(イオンストレス)。このように、浸透圧ストレスやイオンストレスにより作物の成育が悪影響を受けることを塩害と呼んでいる。塩害に対する強さは作物の種類によって様々であるが、塩分にそれほど強くない一般的な作物(非塩生植物または中生植物と呼ばれる)であっても、塩分に対抗する力(耐塩性)をもっている。

耐塩性は浸透圧ストレス耐性とイオンストレス耐性の2つに分けることができる。浸透圧ストレス耐性とは、吸収したミネラル分や体内で合成した物質により体内の浸透圧を高めることにより、土壌溶液の塩分濃度に打ち勝ち、水を吸収することができるようにすることである。イオンストレス耐性とは、塩分の侵入を根や茎で阻害したり、塩分を葉の細胞中の液胞に閉じ込めたりすることである。これにより、葉の光合成機能に対する塩の悪影響を避けることができる。しかし、作物の中には、塩分を吸収して成育を促進させることができるものがある(塩生植物)。塩分により成育が促進される仕組みについては、塩分を体内の浸透圧調節材として利用することができることなど知られているが、まだわからない部分が多い。(文:山田 智)

If the concentration of the soil salinity is high, the roots cells of the crop cannot absorb water comfortably (osmotic stress). And metabolism is hampered when salt penetrates into the plant cells (ion stress). Such adverse effect on the growth of crops due to osmotic stress or ionic stress is called salt damage. The resistance to salt damage varies

作物の耐塩性(高橋1987 を改変*)

Salt tolerance of crops (Modified from Takahashi 1987)

耐塩性 Salt tolerance	減収を伴わない土壌の 塩分濃度の範囲 Range of soil salinity without loss of yield (ppm)	作物の例 Crop example
極弱 Extremely weak	500~1,000	インゲンマメ(kidney beans)、ニンジン(carrot)、イチゴ(strawberry)、タマネギ(onion)、ラデッシュ(radish)、カブ(turnip)、レタス(lettuce)、サツマイモ(sweet potato)
弱 Weak	1,000~2,000	ソラマメ(fava bean)、トウモロコシ(maize)、サトウキビ(sugar cane)、キャベツ(cabbage)、アルファルファ(alfalfa)、ホウレンソウ(spinach)、キュウリ(cucumber)、トマト(tomato)、ブロッコリー(broccoli)、イネ(rice plant)
中 Medium	2,000~3,000	ズッキーニ(zucchini)、カボチャ(pumpkin)、トールフェスクグラス(tall fescue grass)
強 Tolerant	3,000~4,000	ササゲ(cowpea)、ダイズ(soybean)、ソルガム(sorghum)、デュラムコムギ(durum wheat)
極強 Extremely tolerant	4,000~5,000	オオムギ(barley)、テンサイ(sugar beet)、ワタ(cotton)

* 高橋英一(1987)生命にとって塩とは何か? 農山漁村文化協会

Eiichi Takahashi(1987) Roles of Salt for Lives, Rural Culture Association Japan (in Japanese).

depending on the crop species, but even general crops (i.e., The Glycophytes) that are not very resistant to salt have the ability to resist salt at this concentration gradient (salt tolerance).

Salt tolerance can be divided into two types: osmotic stress tolerance and ionic stress tolerance. Osmotic stress tolerance refers to the ability of the plant cells to overcome the salt concentration of the soil and absorb water by increasing the osmotic pressure in the plant cell with absorbed minerals and substances synthesized in the plant. Ion stress tolerance refers to inhibiting salt invasion by roots and stems cells, or trapping salt in vacuoles of leaf cells. This can prevent the adverse effects of salts on the photosynthetic functionality of its leaves. However, some crops can absorb salt and promote growth (Halophytes), as regards the mechanism of promoting growth by salt, it is known that salt can be used as a material for regulating osmotic pressure in the body, but there are still many unknown parts to this story. (Satoshi YAMADA)



塩分を含む培養液を用いて中生植物(バジル)を水耕栽培したときの成長の様子。培養液の塩分濃度は、海水の塩分濃度を100%とすると、左から順に、0、8、17、25、33%となる。塩に弱い中生植物では、塩分により成育が徐々に減退している様子がわかる(日本、鳥取大学)。

Growth of hydroponically grown glycophyte (basil) using a culture solution containing salt. The salt concentration of the culture solution was relative to that of seawater at is 0, 8, 17, 25, and 33% in order from the left. It was then revealed that the growth of salt-sensitive glycophyte gradually declines due to salt content. (Tottori Univ., Japan).



塩性土壌を用いて塩生植物(スアエダ・サルサ)を栽培したときの成長の様子。土壌溶液の塩分濃度は、海水の塩分濃度を100%とすると、左から順に、3、10、17、35、48、85%となり、塩生植物では塩分により成育が促進される(日本、鳥取大学)。

Growth of halophyte (*Suaeda salsa*) grown on saline soil: The salinity of the soil solution relative to the salinity of seawater is 3, 10, 17, 35, 48, and 85% from left to right. (Tottori Univ., Japan).

アラル海の危機

THE ARAL SEA CRISIS



干上がった湖岸に残された漁船(カラカルパクスタン、ムイナック)。

A fishing boat left on the dried lake bottom (Muynak, Karakalpakstan).

アラル海危機

～人によって引き起こされた環境災害

The Aral Sea Crisis

～Human Caused Environmental Disaster

アラル海は中央アジアに位置するユニークな内陸塩湖であり、その流域はウズベキスタンとタジキスタン、トルクメニスタン、キルギスタン、カザフスタン、アフガニスタン、イランにまたがって存在する。カスピ海(イランからコーカサスの東)、スベリオル湖(カナダ、アメリカ)、ビクトリア湖(タンザニア、ケニア、ウガンダ)に続く大きさで、世界最大の湖の1つとなっている。湖へはシルダリア川とアムダリア川が流れ込むが、湖から流れ出る川を持たない閉鎖湖である。閉鎖湖としてはカスピ海に次ぐ2位の大きさであり、このことから海という名がつけられている。

アラル海は気候の影響と人為的影響の両方によって縮小しているが、人為的な影響としては、シルダリア川とアムダリア川からの大量の水を消費する大規模灌漑の影響が大きいとされている。これにより過去数十年間、アラル海に流入する水の量は減少を続け、その結果、アラル海の面積が減少した。それに加えて、伝統的な農業(単一種の栽培)慣行、過放牧、土壌侵食、森林破壊などが、流域の土地の劣化を加速させている。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

The Aral Sea is a unique natural landlocked saline lake, located in Central Asia, where the drainage basin encompasses Uzbekistan and parts of Tajikistan, Turkmenistan, Kyrgyzstan, Kazakhstan, Afghanistan and Iran. It was considered one of the largest lakes in the world, ranked forth by size, following the Caspian Sea (Iran to the east of the Caucasus), Lake Superior (Canada, USA), and Lake Victoria (Tanzania, Kenya, and Uganda). The Aral Sea is a closed lake without the river flowing out of the lake, though the rivers Syrdarya and Amudarya flow into the lake. It is the second largest lake in size after the Caspian Sea among enclosed lakes; that is why people referred to it as the Sea.

The Aral Sea has been shrinking due to both climatic and anthropogenic impact including large-scale irrigation, which consumes huge amount of water from the Syrdarya and Amudarya Rivers. Since last few decades amount of water flowing into the Aral Sea has decreased and, thus reduced its size. In addition, traditional agricultural (monoculture) practices, overgrazing, soil erosion and deforestation have doubled the degradation of lands in the basin.

(Kristina TODERICH)



アラル海とその流域の国々。

Geographical location of the Aral Sea Basin countries.

アラル海は鮮新世以来繰り返し洪水と乾燥を繰り返している。それは化石や、残された海岸の段丘、考古学的な遺跡、ウストゥルト高原の急な崖の形跡などからも明らかである。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

The Aral Sea depression has repeatedly been flooded and desiccated since the Pliocene, as is evidenced by the remains of marine fossils, relict shore terraces, archeological sites, abrupt cliffs of the Usturt plateau.

(Kristina TODERICH)



ウストゥルト高原にみられる湖岸の痕跡－ウズベキスタン側(1980年)。

Usturt Plateau Remains (relict shore terrace) – bordering to the Aral Sea from Uzbek side (1980).



残存するアラル海(後部)と塩類が集積したアラルクム砂漠に侵入した塩生植物(手前)(カラカルパクスタン、ムイナック市から約180km地点、2017年)。

A briny remnant of the Sea (in the back) and halophytes-colonizers of saline “Aralkum” desert (in the front)(About 180km away from Muynak city, Karakalpakstan, 2017).

アラル海の縮小と塩の集積

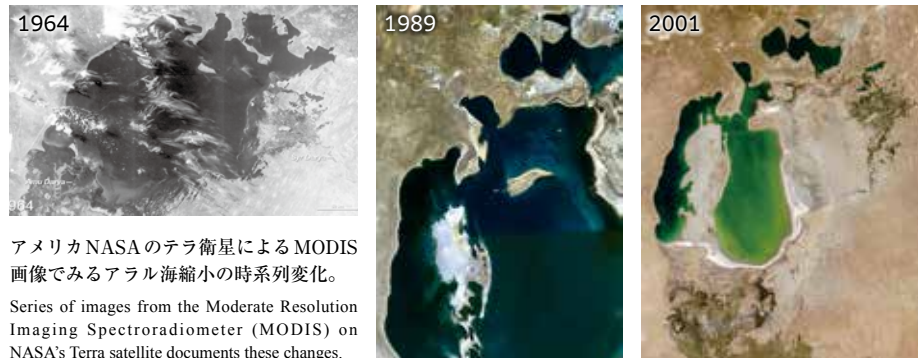
Shrinking Aral Sea and Salt Accumulation

アラル海に流入する河川水を用いた大規模な灌漑システムと複雑な排水システムは、生産性の高い自然草地（カザフの草原）を大規模な灌漑農地に変えた。しかし、一方で、アラル海に流入する河川水の量は、流域での集中的な灌漑利用と綿や小麦の単一栽培システムのために劇的に低下した。1987年から1989年にいたる河川水の利用により湖の水位は低下し、アラル海は北アラル海と南アラル海の2つに分断された。

アラル海に流入するアムダリア川とシルダリア川の水は、水力発電（上流）と農地の灌漑（下流）に集中的に利用されている。さらに1985年以来、アラル海地域では干ばつが長引き、この2つの主要な川から湖に流入する水はほとんど無くなってきている。気候変動の影響により、夏はより暖かく、冬はより寒くなり、春の霜はより遅く、秋の霜はより早くなっている。植物の成長期が短くなり、湿度が下がる傾向にある。このように、アラル海の縮小は最近の45～50年で急速なペースで進んできた。（文：トデリッチ クリスティーナ）

The large-scale irrigational infrastructure and complicated drainage systems using river water flowing into the Aral Sea have converted large territories of natural productive pastures and grasslands (Kazakh steppes) into irrigated farmlands. However, on the other hand, the amount of river water flowing into the Aral Sea has dropped dramatically due to intensive irrigation and monocultural cotton-wheat-based production systems. Due to river diversions the Sea water level in the year covering 1987-1989 fell enough to split it in two: the North Aral Sea and the South Aral.

The river waters of the Amudarya and Syrdarya rivers have been used intensively for hydropower generation (in its upper stream) and irrigation of agricultural lands (in its downstream). In addition, since 1985, the cycles of drought have been prolonged in the Aral Sea region, and almost no water has flowed into the lake from these two major rivers. Due to the effects of climate change, summers have become warmer, winter's cooler, spring frosts later, and fall frosts earlier. The growing season of plants becomes shorter and the humidity tends to decrease. Thus, the shrinking of the Aral Sea has progressed at a rapid pace in the last 45-50 years. (Kristina TODERICH)



アメリカNASAのテラ衛星によるMODIS画像でみるアラル海縮小の時系列変化。

Series of images from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on NASA's Terra satellite documents these changes.

https://coimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/3000/3730/aral_sea_1989_250m.jpg

1964年にはアラル海は水で満たされていたが、1989年には水位がかなり下がってきた。2001年にはアラル海は西と東に分断し、北アラル海（カザフスタン側から小アラル海と呼ばれることもある）は、南アラル海から完全に分離した。アラル海の縮小に伴い湖水の塩分濃度が上昇し、2001年頃には1960年代のほぼ3倍の塩分濃度を示すようになった。

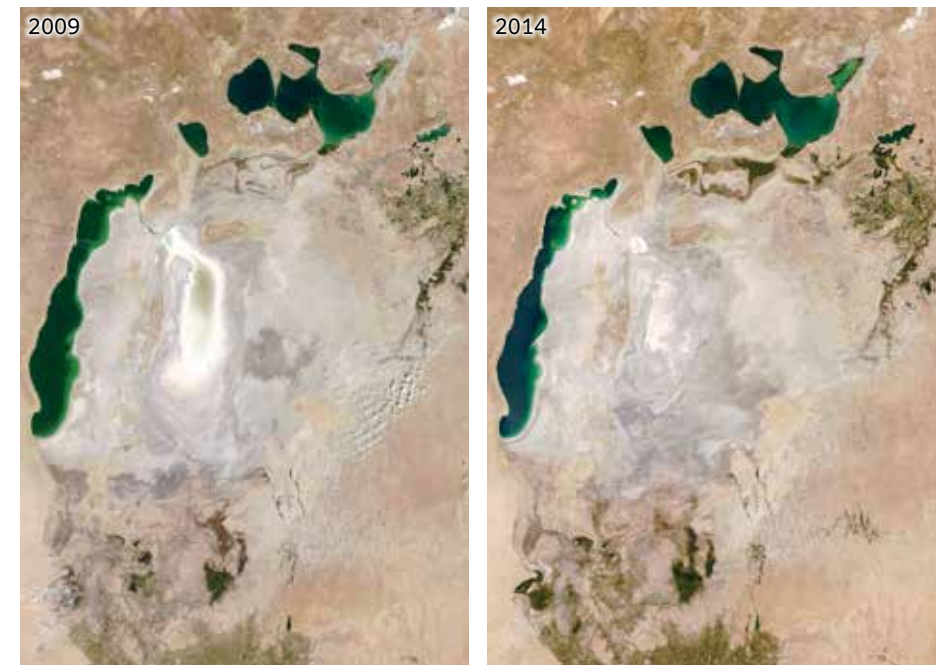
2001年から2017年の間、乾燥年や湿潤年の発生に伴いアラル海の水位は毎年のように変動した。さらなる灌漑による水利用と干ばつにより、2014年にはアラル海の東部分は600年ぶりに完全に干上がってしまった。

アラル海は1960年代以来、元のサイズの90%以上を失ってしまった。そして、水の塩分濃度はイスラエルの死海と同等程度になっている。さらに、ますます塩辛くなった水は、肥料と農薬で汚染されている。（文：トデリッチ クリスティーナ）

As at 1964 the Aral Sea was filled with water. In 1989, the water level dropped considerably. In 2001, the Aral Sea was divided into west and east, and the North Aral Sea (sometimes called the Small Aral Sea from the Kazakh side) was completely separated from the South Aral Sea. The salinity of water had risen as the Aral Sea has shrunk, and around 2001 the salinity was almost three times that of the 1960s.

Between 2001 and 2017, water levels in the Aral Sea fluctuated annually with the occurrence of dry and wet years. Further irrigational water usage and drought drove the eastern part of the Aral Sea completely dry in 2014 for the first time in 600 years.

The Aral Sea had lost more than 90% of its original size since the 1960s. And the salinity of the water is currently about the same as the Dead Sea in Israel. In addition, increasingly salty water has been over the years contaminated with fertilizers and pesticides. (Kristina TODERICH)



塩混じりの砂塵嵐

Salts and Dust Storms

過去数十年の間に露出して乾燥した湖底は、塩を含む砂塵嵐の新しい「発生源」になった。アラル海の湖底には、塩化ナトリウム(56%)、硫酸マグネシウム(26%)、および硫酸カルシウム(15%)を含む、推定100億トンの塩が含まれていると考えられる。これらの塩や砂塵はエアロゾルとなり大気中を漂い、風によって15万～150万km²以上の広範囲に運ばれる。

塩混じりの砂塵嵐は年間5日～146日の幅の頻度で発生する。塩分を含んだ砂塵は干上がった湖底から吹き飛ばされ、大気中を移動後、畑に降り注ぎ、土壌を劣化させてしまう。塩類によって劣化した耕作地を回復させるには、大量の淡水で洗い流されなければならない。そして、有毒でもある塩や砂塵嵐は、地域に生息する動物や人々の健康に大きな影響を与えることになる。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

In the last few decades, the exposed dry bottom became the new “hotspot” of dust and salt storms. The Aral Sea contained an estimated 10 billion metric tons of salt with sodium chloride (56%), magnesium sulfate (26%), and calcium sulfate (15%). Aerosols are carried by wind over 150,000 to 1,500,000 km².

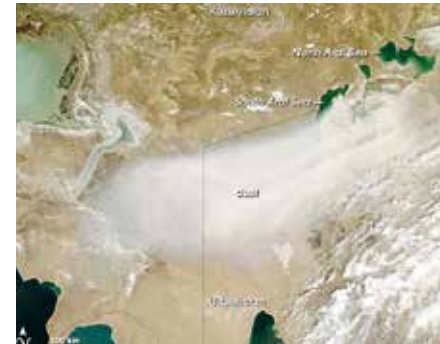
The frequency of dust and sand/salts storms varies in a wide range 5-146 days/year. The salty dust blew off the lakebed and settled onto the fields, degrading the soil. Croplands had to be flushed with larger and larger volumes of fresh river water. It has been recorded that toxic salts and dust storms dramatically are affecting health of animals and people residing in those areas.

(Kristina TODERICH)



より良い未来の暮らしを信じる子供(カザフスタン、アラルスク居住地)。

Young boy believes in better live (Aralsk settlement, Kazakhstan).



干上がったアラル海の湖底から発生する塩混じりの砂塵嵐(2018年)。

The salty dust storms originating from the dried-up lakebed of the Aral Sea (2018).

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/19853/dust-storm-over-the-aral-sea>



アラル海東岸の旧湖底から立ち昇る砂塵嵐(2017年11月)。

Dust plumes from the old lake bottom on the east coast of the Aral Sea (November, 2017).

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/8182/dust-storm-aral-sea-kazakhstan>

漁業の消滅

Disappearance of Fisheries

アラル海南部のムイナック近くでは、人々の暮らしを支えていた漁業は姿を消した。1980年代初期までに24種の在来魚種のうち20種が消失し、1957年に48,000トンあった漁獲量は1990年代にはゼロになった。
(文: トデリッチ クリスティーナ)

Famous fisheries from the Aral Sea beach near Muynak were completely destroyed. By the early 1980s, 20 of 24 native fish species disappeared and the commercial catch (48,000 metric tons in 1957) fell up to zero in 1990s.
(Kristina TODERICH)



干上がった湖岸に残る“漁船の墓場”(カラカルバクスタン、ムイナック)。

The “ship cemetery” on the dried up lake shore (Muynak, Karakalpkastan).



移住により捨てられた漁村(カラカルバクスタン、ムイナック)。

Fishing village abandoned by immigration (Muynak, Karakalpkastan).

わずかに残されたアラル海本来の生態系

Relicts of Original Ecosystems of the Aral Sea

アムダリアデルタにわずかに残るトゥゲイ自然林(小さな孤立島となっている)(カザフスタン)。

Relicts of Tugay natural forest (small isolates isles) in Delta of Amudarya (Kazakhstan).



ホワイトペリカンの群れ(カザフスタン)。

Great White Pelican (*Pelecanus onocrotalus*) (Kazakhstan).

バルサケルメス自然保護区のアジアンロバ(カザフスタンのアラル海北部)。

Kulans (*Equus hemionus kulan*) in Barsakelmes Nature Reserve (Northern Aral Sea in Kazakhstan).



新たに出現した生態系： アラルクム(塩の砂漠)

Neo-Ecosystems : Aralkum (Saline Desert)

政府の支援と保全に向けての努力により、北アラル海(カザフスタン側)が回復した。しかし、南アラル海は減少し続けた。南アラル海を中心に広がる干上がった湖底には塩が集積した新たな生態系“アラルクム”が出現した。このアラルクム生態系の修復や活用に向けての努力が進められている。

1994年以来、研究と開発を調整するための合同委員会として、国際アラル海救済基金(IFAS)が設立された。また、2018年10月には、中央アジア5か国すべての支援を受け、ウズベキスタン共和国大統領の下にアラル海国際イノベーションセンター(IICAS)がカラカルパクスタンのヌクスに設立された。鳥取大学はこのIICASと緊密な協力関係を確立している。

また、国連が支援するアラル海地域マルチパートナー人間安全保障信託基金は、数百万人への生態系サービスや生活改善のため、アラル海の乾燥し塩分の蓄積した旧湖底の回復を目的に外国からの投資を集め、技術革新を進めつつある。(文:トデリッチ クリスティーナ)

Due to support from the government and conservation efforts, the North Aral Sea (from Kazakhstan side) is recovering. The South Aral Sea, however, continued to decline. A new ecosystem of salt desert “Aralkum” has emerged on the dried up lake bottom of the South Aral Sea. Efforts are underway to restore and utilize the Aralkum ecosystem.



Since 1994 the International Fund for Saving Aral Sea (IFAS) - a joint committee to coordinate research and development had been established. On October 2018 with the support of all 5 Central Asian countries the International Innovation Center for Aral Sea Basin (IICAS) under the President of the Republic of Uzbekistan was set up in Nukus, Karakalpakstan. The Tottori University established close collaboration with IICAS.

The Multi-Partner Human Security Trust Fund for the Aral Sea Region supported by United Nations is currently attracting foreign investments and innovations aimed to restore the saline dry bottom of the Aral Sea and to improve the ecosystem services and livelihoods of millions of people. (Kristina TODERICH)

干上がった湖底に広がる白い部分は塩の集積である。この塩の砂漠は“アラルクム”と呼ばれる(アラル海 2018年)。

Salt accumulation on the dried lake bottom. This salt desert is called “Aralkum” (The Aral Sea 2018).



ヒユ科、サクラソウ科、イネ科等の塩生植物が、乾燥し塩が集積した湖底に侵入し生育する(カラカルパクスタン、ムイナック北部)。

Natural revegetation of the dry bottom of Aral Sea by first pioneer colonizers (halophytes from families of Amaranthaceae, Plumbaginaceae and Gramineae) (North of Muynak, Karakalpakstan).



アラルクムの塩集積地に生育する塩生植物のタマリスク(カラカルパクスタン、ムイナック北部)。

A halophyte tamarisk growing in salt accumulated areas in Aralkum (North of Muynak, Karakalpakstan).

アムダリア川下流のスードチー湖の湿地(カラカルパクスタン)。

Wetlands at Sudochie Lake in the lower stream of Amudarya River Basin (Karakalpakstan).



アラル海の干上がった湖底は修復され、 新たな自然と人々の暮らしが始まった (カザフスタン側)

New Wild and Human-Being Life at the Former Dry Bottom of Aral Sea (from Kazakh side)

カザフスタン側ではシルダリア川からの水が小アラル海(アラル海北部)に蓄積され、小アラル海の水位は40~42mにまで回復した。これに伴い水の塩分濃度も低下し、数種の漁業上重要な魚の繁殖も可能になった。小アラル海全体で約20種の魚が回復している。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

The flow of water from The Syrdarya River (in Kazakhstan) accumulates in the Small Aral; water level in Small Aral reached 40-42 m. Water salinity reduced which allows breeding of some commercial species of fishes. About 20 species of fish have currently been restored in the Small Aral Sea.

(Kristina TODERICH)

カミスティバス養魚場の人々による魚の再導入(カザフスタン、北部小アラル海、2018年)。

Workers of the Kamystybas fish nursery reintroduced and multiplied fishes (Northern Small Aral Sea, Kazakhstan, 2018).



シルダリアデルタで復元された湿地は、2012年以來ラムサール条約の保護下にある(カザフスタン、バルサケルメス保護区)。

Restored Wetlands of the Syrdarya delta are under the protection of the Ramsar convention since 2012 (Barsakelmes Reserve, Kazakhstan).



伝統の再活性化: カザフ族の人々は新しいアラル海の岸辺に再び帰ってきつつある。彼らの主な収入は、魚、小さな反芻動物、および家庭菜園で節水技術を使用して栽培された耐乾・耐塩性作物である(カザフスタン、北部小アラル海、2017年)。

Revitalization of local traditions - Kazakh families are re-inhabiting the beach of new Aral Sea areas. Their main income is from fish, small ruminants, and from drought/salt tolerant crop cultivated by using watersaving technologies on their kitchen garden (Northern Small Aral Sea, Kazakhstan, 2017).



地元産のヤギからはミルクと肉が生産される(カザフスタン、北部小アラル海、2017年)。

Local bred of goats used for milk and meat production (Northern Small Aral Sea, Kazakhstan, 2017).



アシの採取。アシは、屋根葺き、燃料、家畜の飼料に使用される。(カザフスタン、北部小アラル海、2017年)。

Collection of above ground parts of common reed. Common reed is used for roofing, fuel, and for forage of livestock (Northern Small Aral Sea, Kazakhstan, 2017).

漁師たちはアラル海地域のかつての乾燥した湖底に戻り、小さな村で暮らしている(15~25家族)(カザフスタン、北部小アラル海、2017年)。

Fishermen returned to the former dry bottom of the Aral Sea areas and are living in small villages (15-25 families) (Northern Small Aral Sea, Kazakhstan, 2017).



塩害の 防止と緩和

MITIGATION AND
PREVENTION MEASURES
TO COMBAT SALINIZATION



ウォーターロギングと塩類集積を防止するための暗渠排水システムの敷設(エジプト)。
Laying underdrainage system to prevent water logging and salt accumulation (Egypt).

物理的手法

Physical Methods

乾燥地において集約的な灌漑農業が進むと、植生は根が深い多年生の在来植物から浅い根を持つ1年生の作物または牧草へと変化する。灌漑農業が行われると、多量の水が供給されるとともに、根が届かない土壌深部では根による水の吸収が生じないため含水率が高くなり、最終的に地下水面が上昇する。

半乾燥環境では地下水に塩分が含まれる場合が多く、塩を含む地下水面が土壌表面に達すると作物に塩害が発生する。地下水の塩分濃度が低い場合でも、水が蒸発するにつれて塩が濃縮されるため、地表面では塩分濃度が上昇する。

作物では一般的に苗の定着と分けづの段階が塩分に最も敏感な段階となっている。これらの段階で根域の塩濃度を低下させるさまざまな取り組みは、塩分による悪影響を緩和し、苗の生育を促進する。このため、土壌中の塩分を低下させる多くの方法(物理的方法、化学的方法、生物的方法)が行われている。このうち物理的方法としては以下のようなものが用いられている。

マルチング:

稲わら等の作物残渣で土壌表面を覆うマルチングは、土壌表面からの蒸発を減らし、塩の上方移動を減らす。さらに蒸発量が減少すると、灌漑に使う水量も減らすことが可能となる。

リーチング:

灌漑農業でよく使用される方法で、大量の水を使用して土壌から可溶性物質(カルシウム、ナトリウム、肥料、農薬など)を洗い流す方法である。

良質の水を使った事前播種灌漑:

播種前の時期に良質の水を使った灌漑を行うと、表土から塩分を洗い流すことが出来、種子発芽と苗の生育に効果的である。

表面の塩分の掻き取りと除去:

乾燥地では蒸発量が多くなるため、塩濃度は表層土壌で最も高くなる。このため地表部の塩を多く含む土を物理的に掻き取り、畑の外に運ぶことにより塩を除去することができる。この方法は、世界の多くの地域で使用されている。

畝^{うね}上への播種、植栽:

畝を作り、畝上に種子(または植物)を適切に植えると、塩分の影響を最小限に抑えることができる。

土壌への有機物の鋤込み:

作物残渣または緑肥作物を土壌に鋤込むことにより、土壌構造が改善される。これにより水の浸透が促進され、塩の悪影響を低下させることができる。

人工的なキャピラリーバリアの作成:

土壌中で塩の上昇を促進する毛細管現象は、小石または砂を使用して土壌中に毛細管障壁を作成することにより低下させることが可能となる。

(文:トデリッチ クリスティーナ・山中 典和)

Promotion of intensive irrigated agriculture leads to the replacement of perennial deep-rooted native vegetation by shallow-rooted annual crops or pastures, this result in wetter sub-soils and accompanying larger deep drainage beyond the reach of the shallow roots, leading eventually to rising water tables.

In a semi-arid environment, salt is commonly contained in the groundwater, and when the groundwater containing salt reaches the soil surface, salt damage tends to affect the crops drastically.

The early seedling establishment and tilling stages are generally the most sensitive to salinity. Various practices to reduce the salt concentration in the root zones of the plant during these stages would mitigate the salinity effects and benefit the crop by promoting plant densities and early seedling growth. For this reason, many methods (usually physical, chemical, and biological methods) for reducing the salinity in soil have been conducted. The following methods are used as physical methods.

Mulching : usually with crop residue, such as straw, reduces evaporation from the soil surface which in turn reduces the upward movement of salts. Reduced evaporation also reduces the need for irrigation.

Leaching : is a method used in irrigational agriculture, in this procedure a large amount of water is normally used to wash away soluble substances such as: calcium, sodium, fertilizers, pesticides, etc. from the soil.

Pre-sowing irrigation with good quality water : Where available, irrigation with good quality water prior to sowing helps to leach salts from the top soil. This helps in promoting better seed germination and seedling establishment.

Scraping and removal of surface soil : Due to continuous evaporation the salt concentration is the highest in the surface soil. The top soil can be scraped and transported out of the field.

Appropriate use of ridges or beds for planting : The impact of salinity may be minimized by appropriately placing the seeds (or plants) on ridges.

Incorporation of Organic matter : Incorporating crop residues or green-manure crops improves soil filth, structure, and improves water infiltration which provides safeguard against adverse effects of salinity.

Utilization of artificial capillary barrier : Capillary phenomenon that promotes the rise of salt can be eliminated by creating a layer of capillary barrier in the soil using pebbles or sand.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)



伝統的な作物栽培(ワタ、トウモロコシ、マメ類、飼料作物等)で用いられる春期のリーチング。畑に水を張り、塩類を洗い流す(カラカブスタン、カラブガ地区)。

Farmlands to be used under traditional crops (cotton, corn legumes or forage crops) under leaching in spring season. Fill the field with water to wash away salt (Karabuga settlement, Karakalpakstan).



化学的手法

Chemical Methods

塩性土壌は、低い塩類濃度の水で土壌中の塩類をリーチングすることにより、土壌の生産力を回復させることが可能である場合が多い。一方、ソーダ質土壌は、土壌改良材を用いて土壌表面に吸着しているナトリウムイオンをカルシウムイオンと交換した後、リーチングを行う必要がある。これにより、粘土粒子の分散が減少し、ナトリウム粘土層を破碎して、土壌の排水性と通気性の改善が可能となる。土壌改良材としては、石膏、リン酸石膏、硫黄華、硫酸、塩化カルシウム、硫化鉄、パイライト(黄鉄鉱)および硫酸アルミニウムなどが用いられる。

(文:トデリッチ クリスティーナ・山中 典和)

Saline soils can be reclaimed by leaching of salts with water that has a comparatively low salt concentration. To improve the sodic soils, it is important to exchange the adsorbed sodium ions with calcium ions before leaching out the salt. Effective ways of achieving this include the application of calcium salts or leaching out the sodium salts. This reduces the dispersion of clay particles, breaks up the nitric horizon, and increases drainage and permeability. Gypsum, phosphogypsum, sulfur flower, sulfuric acid, calcium chloride, iron sulfide, pyrite, and aluminum sulfate are thus used as soil amendments.

(Kristina TODERICH and Norikazu YAMANAKA)

ソーダ質土壌への石膏の施用(中華人民共和国)。

Application of gypsum to sodicized field (People's Republic of China).



南カザフスタンにおける14万 ha 以上の塩類土壌の修復における主な障壁の1つとして、土壌中に多く含まれているマグネシウムの存在がある。そこで、リン酸石膏を30～35%施用することによって、作物生産性の向上が認められた。累積効果に基づく、降雪前の石膏の施用は土壌特性を著しく改善し、最適な収益率は3.3 t/haであった。リン酸石膏の利用は、農業生産性と所得創出を向上させるための塩類土壌の化学的改良の手法として有用である。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

One of key barrier on reclamation of more than 140,000 ha saline soils in the South Kazakhstan is presence of excess levels of magnesium in the soils. The use of phosphogypsum at a concentration of 30%-35% was recorded to enhance crops productivity. Based on the cumulative effects, application of gypsum before the snowfall improved soil properties significantly. The optimal rate of return from the application was 3.3 t/ha. The application of phosphogypsum offers a practical approach to addressing a soil chemical constraint that will enhance productivity and income generation.

(Kristina TODERICH)



ソーダ質土壌に生育するワタ(カザフスタン)。

Cotton grown in sodic soil (Kazakhstan).



リン酸石膏を使わないワタ畑(カザフスタン)。

Cotton field without using phosphogypsum (Kazakhstan).



リン酸石膏を使用したワタ畑(カザフスタン)。

Cotton field using phosphogypsum (Kazakhstan).

生物学的手法 (ファイトレメディエーション)

Biological Methods (Phytoremediation)

ファイトレメディエーションは、植物栽培を通じて有機または無機汚染物質による土壌や水の汚染を改良する方法である。特に物理的または化学的手法が高価すぎて実行不可能な場合や大面積対象とした場合に、汚染物質を除去または削減する唯一の効果的かつ経済的な方法である。塩類集積土壌での除塩においては、塩生植物を使用したファイトレメディエーションがしばしば実行される。耐乾性や耐塩性にすぐれたウラル甘草の栽培は、植物による水吸収のために地下水位が下がり、塩類集積土壌の改善にも効果がある。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

Phytoremediation is the cultivation of plants for the purpose of reducing soil and water contamination by organic and inorganic pollutants; an only effective and economical method of removing or reducing contaminants, particularly for large areas where physical/chemical treatments and leaching are too expensive or unfeasible. Phytoremediation using halophytes is often performed for salt removal in salt accumulation soils. Cultivation of licorice, a highly salt and drought tolerant crop, presents a feasible alternative in soils remediation by lowering ground water levels.

(Kristina TODERICH)



塩が集積した砂丘上に植栽されたウラル甘草。根と地上部は貴重な飼料であり、医薬品、食品、香水、製紙などにも使用される(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Artificially planted Licorice (*Glycyrrhiza*) at sandy saline degraded pastures. Licorice roots and aboveground biomass are valuable forage, also used in pharmaceuticals, food, perfumery, paper production and etc (Kyzylkum desert, Uzbekistan).

ウラル甘草の果実(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Mature plant *Glycyrrhiza* with fruits (Kyzylkum desert, Uzbekistan).



塩類集積土壌に植えられたウラル甘草。植栽7年目の畑(ウズベキスタン、シルダリア地域のガラバ農場)。

7 years old Licorice stands planted on secondary salt affected soils (Galaba Farm, Syrdarya region, Uzbekistan).



甘草栽培の5年後にヒマワリ、綿、小麦の輪作に切り替えることは、塩類土壌の修復と農民の社会的および経済的利益の改善に最適なオプションとなる。写真は甘草の収穫後に植えられた半矮性早生品種のヒマワリ(ウズベキスタン、ガラバ農場)。

Switching to sunflower- cotton-wheat rotation after the fifth year of licorice cultivation is the optimal option in reclamation of saline soils and improving of social and economic benefits of farmers. Photograph showing semi-dwarf early-maturing variety of *Helianthus annuus* (L) cultivated after harvesting roots of licorice (Galaba Farm, Uzbekistan).

塩類集積地への植林

Afforestation of the salt-affected areas

中央アジアのカザフスタンとウズベキスタンにまたがる内陸湖「アラル海」では、国際的支援を受けた環境事業により、黒サクサウル (*Haloxylon aphyllum*) の植林が21世紀初頭から湖底と周辺地域で実施されてきた。というのは、20世紀後半の旧ソ連の農業政策により、湖へ流入する河川の中上流域で展開された大規模灌漑農業の結果、僅か30年余りで北側を残し大部分が消失、今は広大な旧湖底砂漠が広がっているのである。黒サクサウルは苗からの植林と種子の播種が実施されている。しかし植林はまだ成功する確率が低く、試行錯誤が続けられている。

(文:松井 佳世)

At an endorheic lake “Aral Sea” which lies between Kazakhstan and Uzbekistan in Central Asia, afforestation with black Saxaul (*Haloxylon aphyllum*) has been going on since the beginning of the 21st century as an internationally supported environmental project. This is an effort to restore the dried-up area of the Aral Sea which we are left with after an excessive agricultural irrigation in the mid-upper basin of the rivers that fed the Aral Sea. This is the result of the agricultural policy of the former Soviet Union set in the latter half of the 20th century which contributed to the exsiccation of the majority of the seabed in a short period of 30 years. To restore the area, people are planting seedlings and sowing seeds of black Saxaul. However, the probability of success of the afforestation is still low, and trial and error will continue.

(Kayo MATSUI)



旧湖底にみられる黒サクサウルの実生(カザフスタン、アラル海)。

Seedlings of black Saxaul on the Aral Sea bed (The Aral Sea, Kazakhstan).



アラル海旧湖底の黒サクサウル植林圃場(カザフスタン、アラル海)。

Afforestation plots of black Saxaul on the Aral Sea bed (The Aral Sea, Kazakhstan).



塩類集積地での黒サクサウル播種(カザフスタン、アラル海近辺)。

Seeding of black Saxaul on the salt accumulated lands (near the Aral Sea, Kazakhstan).



かつてのアラル海の沿岸に位置するカラテレン管区には、塩類集積地に2haの黒サクサウルの防風林が作られている。これは日本の環境事業財団と地元カザフスタンのNGOが2005年から協同で管理する植林地で、約3,000本の黒サクサウルの苗木が育っている(上)。黒サクサウルは苗圃場で育てられ、裸の苗木が植林に使用されてきたが、最近は苗木の根を保護するためにポット苗の栽培が試行されている(下)(カザフスタン、カラテレン管区)。

Located on once a coast of the Aral Sea, a district called Karateren has a 2ha black Saxaul plantation for the windbreak. This plantation site has been jointly managed by Japanese environmental funds and a local NGO in Kazakhstan since 2005. About 3,000 trees are growing up (top). Naked seedlings of black Saxaul grown in the nursery fields are commonly used for afforestation. However, in order to protect roots of the seedlings, there is a trial of pot seedling cultivation going on (bottom) (Karateren district, Kazakhstan).



旧湖底に植えられた黒サクサウルの苗木と貝殻(カザフスタン、アラル海)。

A planted black Saxaul seedling and shells on the dried seabed (of the Aral Sea, Kazakhstan).



塩類土壤に植栽されたタマリスク。タマリスクは塩を吸収して体内に蓄積するため、塩類土壤の改良のために植林される(中国、陝西省)。

Tamarisk planted on saline land. Tamarisk is often planted for phytoremediation of saline soils because of its salt absorption and accumulation ability (Shaanxi province, China).



タマリスクの苗圃。苗は挿し木で容易に増やすことができる(中国、陝西省)。

Nursery. Tamarisk can be easily propagated from cuttings (Shaanxi province, China).



道路を飛砂から守るために植林されたタマリスク。塩分を含む地下水を用いた点滴灌漑で育てられている(上)。苗の周りには塩が集積している(下)(中国、タクラマカン砂漠)。

planted for the protection of the road from sand drift. They are grown by drip irrigation of saline groundwater (top). Salt accumulation around the seedling (bottom) (Taklamakan Desert, China).

Part 6.

塩生植物の 利用と塩生農業

UTILIZATION OF HALOPHYTES
AND BIOSALINE AGRICULTURE

塩生植物の利用

Utilization of Halophytes

食料としての利用

Human Consumption

■ キヌア

ヒユ科の1年生作物で、換金価値が高い。約5,000年前にアンデス(ラテンアメリカ)で栽培された最も古い作物の1つ。一般的な穀物と比較して、キヌアの種子は非常に高い栄養価を示す。特にキヌアはグルテンを含まず、たんぱく質が豊富で、9つの必須アミノ酸すべてを十分に含む数少ない植物性食品の1つである。さらに、繊維、マグネシウム、ビタミンB、鉄、カリウム、カルシウム、リン、ビタミンEおよびさまざまな有益な酸化防止剤を含む。また、キヌアは、世界で最も人気のある健康食品の1つで、その種子は、キヌア粉、焼き製品、スープ、飲み物、サラダ、朝食用シリアルとして用いられる。葉と茎は、栄養価が高いため、動物の飼料として使用される。国連(UN)は、栄養価が高く、世界中の食料安全保障に貢献する可能性があるため、2013年を「キヌアの国際年」と宣言した。(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Quinoa is an annual cash crop from Amaranthaceae family. This plant species is one of the oldest crops cultivated in the Andes (Latin America) about 5,000 years. As compared to common cereals Quinoa grains are very nutritious. Quinoa is known to be gluten-free, high in protein and one of the few plant foods that contain sufficient amounts of all nine essential amino acids. It is also high in fiber, magnesium, B vitamins, iron, potassium, calcium, phosphorus, vitamin E and various beneficial antioxidants. Quinoa is one of the world's most popular health foods. Its seeds may be consumed as human food in flour, baked products, soups, drinks, salads and breakfast cereals. Leaves and stems are used as animal feedstock for its higher nutritive value. The United Nations declared in the year 2013 "The International Year of Quinoa" due to its high nutrient value and potential to contribute to food security worldwide.

(Kristina TODERICH)

塩を含む貧栄養土壌で栽培されるキヌア(キルギスタン、イシック・クリ)。

Industrial plantation of Quinoa in flowering and fruit maturation stages on salt affected and poor nutrient soil (Issyk-Kuli, Kyrgyzstan).



国際塩生農業研究所(ICBA)の科学者によって開発されたキヌアの耐塩性および高収量系統(開花期および種子形成段階の開始時)(ウズベキスタン、タシケント)。

Quinoa of genetically improved salt tolerant and high-yield line, developed by ICBA scientists (in flowering and beginning of seed formation stages) (Tashkent, Uzbekistan).



収穫したキヌアの種子(タジキスタン、カトロン地方)。

Mature seeds/grains ready for consumption (Khatlon region, Tajikistan).



■ アマランサス

アマランサス属は約70種からなり、そのうち約40種が食用に適している。食用アマランサス類ではすべての部分が食用となる。葉はビタミンやミネラルが豊富に含まれ、ほうれん草に比べ、ビタミンA、カルシウム、ビタミンBが3倍多く含まれる。レタスと比べるとビタミンAで18倍、ビタミンCは13倍、カルシウムは20倍、鉄は7倍多く含まれる。また、アマランサスの葉のエネルギー価が高く、新鮮な葉で27～53kcal/100gの値を示す。さらに、栄養価も高く、新鮮葉100g当たりで、タンパク質4～6g、脂肪0.2～0.6g、炭水化物4～7gを含んでいる。種子には12%から17%のタンパク質が含まれており、かつ繊維質が多く飽和脂肪が少ない。さらに、アマランサスは他の穀物とは異なり、優れたリジン源ともなる植物である。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ *Amaranthus*

The genus *Amaranthus* comprises of about 70 species, of which 40 are edible. All parts of the edible *Amaranthus* plant are suitable for eating. The leaves are a good source of vitamins and minerals; leaves contain three times more vitamin A, *calcium* and niacin (vitamin B) than spinach, and 18 times more vitamin A, 13 times more vitamin C, 20 times more calcium and seven times more iron than lettuce. *Amaranthus* leaves show a significant energy value ranging from 27 to 53 kcal/100 g of fresh leaves and high nutrition value - in particular 4-6 g of protein, 0.2-0.6 g of fat and 4-7 g of carbohydrates. As for the *Amaranthus* grain, it is high in fiber and low in saturated fats, whereby it contains 12% to 17% protein; moreover, *Amaranthus* is an excellent source of lysine, which sets it apart from other grain crops.

(Kristina TODERICH)



開花期および種子成熟期のアマランサス。国際塩生農業研究所のコア育種コレクションおよび種子増殖試験(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Core breeding collection and seed multiplication trials of *Amaranthus* at flowering and seed maturation stages (ICBA in Dubai, UAE).



家庭菜園で栽培されるアマランサス(ウズベキスタン、アラル海地域)。

Amaranthus cultivated in a kitchen garden (Aral Sea Basin, Uzbekistan).



アムダリヤデルタの塩性農地で栽培されるアマランサス(カラカルパクスタン、コイバクの農村女性学習同アライアンス)。

Amaranthus cultivation practices in the Delta of Amudarya on saline farmer lands. (Rural Women Learning Alliances in Koybak, Karakalpakstan).

アラル海周辺の農村コミュニティに対する、収入と栄養を改善するための作物多様化への取り組み(ウズベキスタン、アラル海地域)。

Crops diversification for Improving Incomes and Nutrition of Rural Communities in Aral Sea Basin (Aral Sea Basin, Uzbekistan).



■ ケッパー(カッパリス スピノサ)

カッパリス スピノサ (*Capparis spinosa*) は、フウチョウボク科のつる性半低木で、地中海沿岸から中央アジアにかけて広く分布する。長いとげを有し、塩類が集積した土地や土壌侵食を受けた荒地に密集した茂みを形成する。ラクダやヤギが食用とする他、花芽や若い果実は、酢や塩に浸けられ、ピクルスとして人々の食用になる。このピクルスはレモン風味の刺激的な味で、フラボノイド(ルチン、グルコカパリン、シニグリン)、ペントサン、ルチン酸、ペクチン酸が含まれている。さらにピクルス表面のメチルグリセリネートは、かなりの量の抗酸化剤ビオフラビノイドルチンを含んでいる。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Caper (*Capparis spinosa*)

Caper (*Capparis spinosa*) is a semi-shrub with thorns of the family Capparidaceae, widely distributed from the Mediterranean coast to Central Asia. It forms dense bushes on the saline soils and soil-eroded wastelands. Caper is grazed by camels and sometimes by goats. The flower buds and young fruits are cured with vinegar and salt. Picked capers have acrid tart and pungent taste with a lemony tang. Caper contains flavonoids (rutin, glucocapparin and sinigrin), pentosans, rutilic and pectic acids. Methyl glycerinates upon Capers contain considerable amounts of the antioxidant bioflavinoid rutin.

(Kristina TODERICH)



カッパリス スピノサの若い果実(ウズベキスタン、ジザック地方)。

Young fruits of *Capparis spinosa* (Dzhizak district, Uzbekistan).

カッパリス スピノサの花(ウズベキスタン、ジザック地方)。
Flowers of *Capparis spinosa* (Dzhizak district, Uzbekistan).



■ エルサレム アーティチョーク(ヘリアンサス ツベローサス)

エルサレム アーティチョーク (*Helianthus tuberosus*) は、北米原産のキク科の多年生草本植物であり、地下部の塊茎を根菜として利用するために広く温帯域で栽培される。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*)

The Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) is a herbaceous perennial plant of the Family Asteraceae, native to North America. family. It is also cultivated widely across the temperate zone for its tuber, which is used as a root vegetable.

(Kristina TODERICH)



エルサレム アーティチョークの花(左)と塩性土壌での栽培(右) (ウズベキスタン、シルダリア地方)。

Flowers of Jerusalem artichoke (left) and cultivation in the saline soils (right) (Syrdarya region, Uzbekistan).



塊茎の収穫(ウズベキスタン、タシケント地方)。

Harvesting of tubers by households (Tashkent region, Uzbekistan).

エルサレム アーティチョークの栽培普及活動(カラカルバクスタン、カザフダリア)。

Promotion of Jerusalem artichoke cultivation among farmers (Kazakh darya, Karakalpakstan, 2009).



塩に強いマメ類

Salt Tolerant Legumes

■ リョクトウ (緑豆)

リョクトウ (緑豆) はアジアを中心に広く栽培される1年生作物であり、耐塩性に優れている。中央アジア等では塩類の影響を受けた農地で冬小麦の収穫後によく栽培される。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Mung bean (*Vigna radiata*)

Mung bean (green bean) is an annual crop widely grown mainly in Asia and has excellent salt tolerance. In Central Asia, etc., it is cultivated well on farmlands affected by salts as a second crop; after winter wheat harvesting follows.

(Kristina TODERICH)

リョクトウの種子 (ウズベキスタン、フェルガナ谷)。

Seeds of Mung bean (Fergana Valley, Uzbekistan).



リョクトウの莢 (ウズベキスタン、フェルガナ谷)。

Fruits of Mung bean (Fergana Valley, Uzbekistan).



塩の影響を受ける畑で栽培されるリョクトウの収穫 (ウズベキスタン、フェルガナ谷)。

Harvesting mung beans grown in salt-affected fields (Fergana Valley, Uzbekistan).



■ ジュウロクササゲ

ジュウロクササゲ (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*) は、ヤードロングビーンまたはチャイニーズロングビーンとして知られているマメである。つる性の1年生植物であり、30cmから長いものでは70cmになる長い莢が特徴である。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Yardlong bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*)

Vigna unguiculata ssp. *sesquipedalis*, known as yardlong bean or Chinese long bean, is a vigorous annual epiphyte and the plant produce long pods, ranging from 30 to 70 cm.

(Kristina TODERICH)



塩の影響を受ける畑で栽培されるジュウロクササゲ (ウズベキスタン、フェルガナ谷)。

Yardlong bean grown in salt-affected fields (Fergana Valley, Uzbekistan).

■ ササゲ

ササゲ (*Vigna unguiculata*) は、塩類土壌や貧栄養土壌に耐性のある1年生マメ科植物である。葉、莢、若い豆も食用となる。豆は美味しく、重要な食糧であるとともに、消化の改善、睡眠障害の改善、糖尿病の管理、心臓の保護に効果がみられる。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Cowpea (*Vigna unguiculata*)

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is an annual herbaceous legume tolerant to soil salinity and poor nutrient soils. The leaves, pea pods, and green peas are also edible. Beans are delicious and important diet for human health, offering several benefits. They help improve digestion, aid in sleep disorders, manage diabetes and protect the heart.

(Kristina TODERICH)



ササゲの花 (左) と 莢 (右) (アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Flowers (left) and fruits (right) of cowpea (ICBA in Dubai, UAE).

家畜の飼料としての利用

Livestock Fodder

■ コキア類

コキア プロストラタ (別名: パシア プロストラタ) はヒユ科の多年生小灌木 (高さ35~90cm) で、寿命は7~14年。家畜の飼料として利用される。灰褐色の黄土、堆積物、ローム質粘土の土壌、および塩性湿地の縁等によく生育し、10-15dSm⁻¹を超える土壌塩分に耐えることができる。動物によく食べられ、放牧地の改善や塩性地での牧草地造成に利用される。干し草は冬期の飼料としての保管と利用に適している。1年中動物が食べることができ、生産性が高く、カロリーがあり、味の良い植物である。食害後の再成長能力にも優れている。

コキア スコパリアは1年生植物 (高さ50~120cm) で、塩性土壌や塩性湿地の縁に分布する。砂質、アルカリ性その他の貧栄養土壌でよく生育する。羊や牛の飼料作物として、また観賞用としても栽培される。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ *Kochia* spp.

Kochia prostrata (syn. *Bassia prostrata*): perennial forage small shrub (Height: 35-90cm) of Amaranthaceae (formerly treated as Chenopodiaceae). Life span is 7-14 years. Grown well on gray brown, loessic deposit, loamy clay soil and on salt marshes margins, and tolerates soil salinity >10-15 dSm⁻¹. It is well grazed by animals and used in rangelands improvement and creation of long-term halophytic pastures; good for making hay and fodder storage for winter animal feeding. Highly productive, caloric and palatable plant eaten by animals all year round. Has excellent regrowth ability after grazing.

K. scoparia: an annual plant (Height: 50-120cm) occurs on saline soils and salt marshes margins. It thrives in sandy, alkaline and other poor soils. It is grown as a forage crop for sheep and cattle and also as an ornamental crop.

(Kristina TODERICH)



塩性草地に植栽されたコキア スコパリア (左) とアトリプレックス ニテンス (右) (ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Halophytic pastures with *Kochia scoparia* (Left) and *Atriplex nitens* (Right) (Kyzylkum deseret, Uzbekistan).



種子採取用に栽培されているコキア プロストラタ (ウズベキスタン、スラタ)。

Kochia prostrata industrial plantation used for seed multiplication (Nurata, Uzbekistan).



アルハギ シュードアルハギが優占する自然牧草地 (上) およびヤギやヒツジが放牧されたアルハギ塩性牧草地 (下) (ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Overview of natural pastures dominated by *Alhagi pseudoalhagi* (top) and open grazed *Alhagi* halophytic pastures by small ruminants (bottom) (Kyzylkum desert, Uzbekistan).



アルハギの根茎上に栽培されるスイカ (ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Water melon grown on roots of *Alhagi* (Kyzylkesek Farm, Kyzylkum Desert, Uzbekistan).



アルハギの花と果実 (ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Alhagi in flowering and fruit maturation stages (Kyzylkum Desert, Uzbekistan).

■ アルハギ類

アルハギ属は低木または多年生のマメ科植物。塩分が16dSm⁻¹を超えるアルカリ性土壌でも生育し、塩分を含むサブカと呼ばれる低地や海岸に広く分布する。主に牧草地や放置された地域に成育する。根が深く、根が地中3~5mまで伸びることがある。種子と根茎による繁殖する。茎は直立し、非常に分岐しており、短い紡錘状の小枝がある。植物全体が薬用に使用される。

アルハギ シュードアルハギ:

中央アジア、ロシア南部、東地中海の砂漠および半砂漠の牧草地で最も貴重な牧草の1つ。若い茎、葉の果実、種子は肥育用飼料として利用。ヤギやラクダに食べられ、干し草にして冬の飼料として使われる。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ *Alhagi* spp.

Genus *Alhagi*: shrubby, perennial species of Fabaceae. It grows on alkaline soil with salinity > 16 dSm⁻¹ and is widely distributed at the peripheries of The Sabkhas and at the seashore. Found mostly in pastures and neglected areas. Deep-rooted, rhizomatous, with roots that can extend up to 3 to 5 m into the ground; Spreads by seeds and rhizomes. Stems are erect to ascending, heavily branched, with short, spinescent twigs. The whole plant is used for medicinal purposes.

Alhagi pseudoalhagi: One of the most valuable forage plants in the desert and semidesert pastures of Central Asia, southern part of Russia and eastern Mediterranean. Young stems, leaves fruits and seeds are considered as a fattening feed. Eaten by goats and camels and stored in the winter as a fodder/hay.

(Kristina TODERICH)



■ アトリプレックス類

アトリプレックス (*Atriplex*) はヒユ科の1年生植物または多年生低木であり、高さは4～5メートルに達するものもある。葉は一般的に灰緑色であり、表面は粉を吹いたような状態、または鱗片状の毛で覆われる。

世界には100種類以上のアトリプレックスが存在し、乾燥や塩性環境で一般的な植物である。雌雄同株(雄花と雌花を持つ)または雌雄異株(雄株と雌株を持つ)。葉が食用となる種も多いが、葉にシュウ酸塩を含むため食べる前には調理が必要である。多年生のアトリプレックス類(アトリプレックス カネッセンシス、アトリプレックス ウンデュラタ、およびアトリプレックス カナ等)は、植林およびアグロフォレストリーに使われるとともに、塩性/ロームサンド質土壌やアルカリ土壌に成立する放牧地の修復に使用される。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Salt bush (*Atriplex* spp.)

Genus *Atriplex* - regarded as the salt-bush species of Amaranthaceae; they may be either annual herbs or perennial shrubs with some reaching 4-5 meters in height. The leaves are typically gray-green and farinose (covered with a “meal-like” powdery/scaly material).

There are over a 100 species of *Atriplex* known. They are cosmopolitan but are more common in arid and/or saline habitats. Nearly all species are salt tolerant, but some are exceptional halophytes with good growth rates in sea water. The plants may be either monoecious (having male and female flowers on the same plants) or dioecious (having male and female on different plants). There are a number of *Atriplex* species that have edible leaves, but they should normally be cooked before eating. Many *Atriplex* species have heat-labile oxalates that must be destroyed to be palatable. Perennial *Atriplex* species, such as *A. canescens*, *A. undulata* and *A. cana* are successfully utilizable in afforestation and agroforestry trials and for rangelands restoration of salty/loamy sandy and alkaline soils.

(Kristina TODERICH)



アトリプレックス セミバッカータ(前方)とアトリプレックス レンティフォルミス(後方)。いずれも家畜の飼料の他、侵食防止用にも植えられる(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Atriplex semibaccata (creeping saltbush in front) and *A. lentiformis* (back). It is suitable as forage as animal feed in poor marginal lands. Used also in controlling soil erosion (ICBA in Dubai, UAE).



アトリプレックス セミバッカータの花。葉には塩分が析出している(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Atriplex semibaccata flowers; secreted salts on leaves surface (ICBA in Dubai, UAE).



家畜の飼料として点滴灌漑で栽培されるアトリプレックス ハリムスとその果実(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Atriplex halimus (Silvery orache) under drip irrigation cultivation as animal feed (whole plant and fruits) (ICBA in Dubai, UAE).



塩性土壌の修復に用いられるアトリプレックス カネッセンシス(ウズベキスタン、シルダリア川)。

Atriplex canescens used for restoration of salt affected lands (Syrdarya river basin, Uzbekistan).



アトリプレックス ニテンスの栽培地。1年生の飼料作物で、砂質の塩性土壌の修復に用いられる(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Plantation of *Atriplex nitens*- annual forage species used for restoration of sandy saline soils (Kyzylkum desert, Uzbekistan).

燃料としての利用

Use as Fuel

塩生植物の植物体は、再生可能エネルギー生産の貴重な源泉となる。ウズベキスタンのキジルクム砂漠で、高塩分環境に生育する野生塩生植物(カリディウム カスピクム、アツケシソウ、カレリニア カスピア、アトリプレックス ニテンス、および クリマコプテラ ラナタ)を用いて、嫌気性分解についての室内実験を行った結果、塩生植物の乾物 1 トンから257～481m³のバイオガスを得ることに成功している。(文:トデリッチ クリスティーナ)

Biomass of halophytes represents a valuable source for renewable energy production. A lab-scale experiment on the anaerobic degradation of wild halophytes (*Kalidium caspicum*, *Salicornia europaea*, *Karelinia caspia*, *Atriplex nitens* and *Climacoptera lanata*) from highly saline Kyzylkum desert soils in Uzbekistan was proved to have obtained 257-481 m³ of biogas from one ton of the dry matter of such plants. (Kristina TODERICH)



クリマコプテラ ラナタの植物体は飼料やバイオ燃料として利用することができる(ウズベキスタン)。

Biomass of artificial stands of *Climacoptera lanata* are used by local pastoralists as forage and bio-fuel production (Uzbekistan).

■ カレリニア カスピア

カレリニア カスピアはキク科の大型多年生植物で、高さ1～1.3mに達する。塩生植物中最も生産性の高い植物と考えられており、バイオエネルギー生産に適している。沖積堆積物、不毛の土地、塩分の多い土地の水辺域でよく生育する。また、動物にとっての嗜好性は低い。

(文:トデリッチ クリスティーナ)

■ *Karelinia caspia*

Karelinia caspia : A perennial large plant (Height: 1-1.3 m) of Asteraceae. It is considered the most productive plant among halophytes and is suitable for bioenergy production. It grows well on alluvial deposits, barren lands, margins of water bodies shores on saline lands; thus, being unpalatable for animals. (Kristina TODERICH)



塩性土壌に生育するカレリニア カスピア(ウズベキスタン)。

Karelinia caspia growing on saline soils (Uzbekistan).



カレリニア カスピアの花(ウズベキスタン)。

Flowers of *Karelinia caspia* (Uzbekistan).



薬用や香料としての利用

Medicinal and Aromatic Plants

乾燥地に生育する多くの塩生植物は、アルカロイド、エッセンシャルオイル、揮発性オイルの含有量が高く、伝統医学で広く使用されている。例えば、ニトラリア科の多年生植物であるペガヌム ハルマラ、麻黄として知られるマオウ類、セリ科のウイキョウ類であるフェルラ アッサフェティダ、シソ科の多年生植物のフロミス タブソイデス、多くのヨモギ類、シソ科1年生植物のジジフォラ テニュイオラ、ヒノキ科の常緑低木または小高木であるジュニペルス セミグロボサ、グミ科の落葉樹であるヤナギバグミ (エラエグナス アンガステイフォリア) 等は薬用や香料植物として広く知られている。 (文: トデリッチ クリスティーナ)

Many wild halophytes are used in traditional medicine due to their high content of alkaloids, essential and volatile oils. Among them, *Peganum Harmara* (a perennial plant of family Nitralidae), *Ephedra* spp., *Ferula assa-foetida* (fennel of Apiaceae), *Phlomis thapsoides* (a perennial plant of family Lamiaceae), species of genus *Artemisia*, *Ziziphora tenuior* (an annual plant of Lamiaceae), *Juniperus semiglobosa* (a evergreen shrub or small tree of Cupressaceae), *Elaeagnus angustifolia* (a deciduous small tree of Elaeagnaceae) are widely recognized as aromatic medicinal plants. (Kristina TODERICH)

■ マオウ類

マオウ類はマオウ科の低木であり、中国北部から中央アジア、アラビア北部、アフリカ北部および北米の砂漠地帯に分布する。葉は鱗片状で小さく、砂丘固定植物として利用される; エフェドラ ストロビラセは雌雄異株の常緑低木(高さ: 1~2 m)で、特に降雪後の秋から冬にかけて、多くの動物にとっての優れた飼料となる。また、この植物にはエフェドリン群の薬用アルカロイドが含まれており、神経系の調節、血圧の上昇、リウマチや胃の問題の治療、気管支喘息や心血管障害に使用される。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ Joint pine (*Ephedra* spp.)

Ephedra is a shrub of the Ephedraceae family and is distributed in desert areas from northern China to central Asia, northern Arabia, northern Africa and North America. The leaves are small and scale-like, and they are used as sand fixers; *Ephedra strobilacea* Bge. is a dioecious evergreen shrubs (Height: 1-2 m). Good fodder plant used by all kind of animals, especially in autumn-winter time after snowfall. This plant contains medicinal alkaloids of ephedrine groups and are used for regulation of the nervous system, increasing blood pressure, treatment for rheumatism and gastric problems, as well as bronchial asthma and cardiovascular disorders. (Kristina TODERICH)



固定砂丘上に生育するエフェドラ ストロビラセ(上)とその果実(下)(ウズベキスタン、キジルクム砂漠)。

Ephedra strobilacea on fixed sands (top) and fruits (bottom). (Kyzylkum desert, Uzbekistan).

■ ペガヌム ハルマラ

ペガヌム ハルマラは、通称“ワイルドルー”または“ハーメル”と呼ばれるニトラリア科の多年生草本または低木(高さ30~50cm)で、塩分を含む劣化した過放牧の砂漠および半砂漠の牧草地に成育する。中国、モンゴル、中央アジアの砂漠、イランから地中海地域までの砂漠地帯に広く分布する。種子を含む植物にはアルカロイドが含まれており、何世紀にもわたって伝統医学で広く使用されている。この植物からの抽出物は、治療困難なうつ病に効果的とされており、パーキンソン病や他のいくつかの障害の治療にも使用されている。古代から民間薬として使用されており、ゾロアスター教のベルシャ人やイスラム教徒は一般的に浄化の儀式で使用する。地方の市場ではペガナムの乾燥した植物体や果物が販売されている。

(文: トデリッチ クリスティーナ)

■ *Peganum harmala*

Peganum harmala L. is a perennial herb or small shrub (Height: 30-50 cm) of Nitraliaceae commonly called “wild rue” or “harmel”, and it grows on degraded and overgrazed desert and semidesert pasturelands with various levels of salinity. This species is widely distributed in desert areas from Mongolia, China, Central Asian desert, Iran to Mediterranean region. This plant including its seeds contains alkaloids, which for centuries are widely used in traditional medicine. Extract of harmala are effective in treatment of resistant depressions and they are also used in the treatment of Parkinson’s disease and several other disorders. Perhaps, it has been used as an indigenous medicinal plant since ancient times. The Zoroastrian Persian and Muslims commonly use its extract in purification ceremonies; its dried leaves and fruits has also been sold to people in local markets. (Kristina TODERICH)



劣化した牧草地に生育するペガヌム ハルマラ(左)と成熟した果実(右)(ウズベキスタン)。

Adult plant of *Peganum harmala* growing on degraded pastures (left) and mature fruits (right) (Uzbekistan).

地方の薬草バザール(左)とバザールで販売されている乾燥したペガナム ハルマラ(右)(ウズベキスタン、サマルカンド)。

Local Medicinal herbs Bazar (left), and dried *Peganum harmala* sold in bazar(right). (Samarkand, Uzbekistan).



塩生農業の可能性

Opportunities for Biosaline Agriculture

塩生農業は、農業において塩分を取り扱う比較的新しい手法である。塩生農業では、塩生植物や耐塩性の非従来型作物を利用して、塩性環境向けの作付けシステムを開発する。また、土壌の性質や水質、そして農業生態系機能を改善することにより、塩性環境下で良質の作物種子を生産する。
(文: トデリッチ クリスティーナ)

Biosaline agriculture is a relatively new approach of dealing with salinity in agriculture. It develops cropping systems for saline environments, using the capacity of halophytes and salt tolerant non-conventional crops. It also produces good quality seeds under saline conditions via improving soil/water quality and natural agroecosystem function.
(Kristina TODERICH)

アグロ-シルビーパストラル(混農牧林業) およびアグロフォレストリー(混農林業)システム

Agro-silvi-pastoral and Agroforestry system



国際塩生農業研究センター(ICBA)で行われている、アグロフォレストリーにおける飼料生産試験 (アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Agroforestry forage trial at territory of the Experimental Station of the International Center for Biosaline Agriculture (ICBA in Dubai, UAE).

アグロ-シルビーパストラルやアグロフォレストリーシステムでは、耐塩、耐乾および霜耐性が高く、利用価値の高い多目的樹種が用いられる。また、塩分を含む湿地の再生のためには、砂漠や川岸に成育する樹木や低木の再導入が行われる。樹木や低木の植林は、地下水位を低下させるバイオ排水として機能し、土地の生産性を大幅に向上させる。さらに急速な落葉落枝の分解により土壌を健康な状態に保つことができる。最適な統合型アグロフォレストリーシステムの例として、伝統的な農業慣行のある牧草地での樹木被覆が12%、アルファルファ30%、および1年生飼料作物58%の構成比をあげることができる。これにより塩性環境での十分な排水制御が可能になり、根域での塩の蓄積を防ぐことができる。
(文: トデリッチ クリスティーナ)

In Agro-silvi-pastoral or agroforestry system, multipurpose tree species with high adaptive potential, salt, drought, frost tolerance, and high utility value are used. Re-introduction of desert and riparian trees and shrubs are conducted for the rehabilitation of saline wetlands. Trees/shrubs plantations act as a bio-drainage, increase the lands productivity significantly, and keep soils healthy due to rapid leaf litter decomposition. An example of optimal integrated agroforestry system comprises of 12% tree cover, 30% lucerne and 58% annual forage crops in pastures with traditional agriculture practice. It provides satisfactory drainage control in saline environments and prevents salt accumulation at the root zone areas.
(Kristina TODERICH)



アグロ-シルビーパストラルシステムに用いられるヒポフェラムノイデス(左)とエラエグナス アンガスティフォリア(右)。どちらも耐寒、耐塩性に優れ、塩分や滞水の影響を受けるオアシスの縁や水路沿いに背の高い飼料用の垣根として植えられる(ウズベキスタン)。

Hippophae ramnoides (right) and *Elaeagnus angustifolia* used in the Agro-Silvi-Pastoral system. Both are cold tolerant and quite resistant to salt. Used as a tall browse hedge on the edge of oasis, along watercourses and riverbeds affected by salinity and water retention (Uzbekistan).



クワ(桑)は耐塩性があり、洪水の氾濫原、丘陵地帯、および乾燥地域の道路沿いに植えられる。桑の葉はカイコの唯一の食物で、養蚕のためにも広く植えられる(ウズベキスタン、トゥトリ集落の近く)。

Morus nigra is a deciduous tree of Moraceae, and commonly known as Mulberries. Mulberry is salt tolerant and planted on floodplains, foot hills, and along the roads in dry areas. Mulberry foliage is only food for silkworm and widely used for sericulture. (near Tutli settlement, Uzbekistan).



クワの実(桑)は生でも乾燥でも食べられる(ウズベキスタン、タシュケント)。

The fruits are edible both fresh and dried (Tashkent, Uzbekistan).

換金作物としての塩生植物 (サリコルニア ビゲロヴィ)栽培

Cultivation of *Salicornia bigelovii* as a cash crop

サリコルニア ビゲロヴィは塩性湿地に成育するヒユ科の1年草で、おそらく現在商業栽培されているすべての塩生植物の中で最も有望なものである。海水で成長する沿岸域の塩生植物で、家畜飼料や人のための高品質オイル生産に用いられる。種子に含まれる油の含有率は約30%で、多くの油料種子作物よりも高い含有率を示す。また、ガラスや石鹸の製造に使用されるソーダ灰生産のためにも伝統的に利用されてきた。サリコルニア ビゲロヴィの商業品種では、2~3トン/haの種子収量、20トン/haのバイオマス生産が可能となる。種子からとれるオイルは、ペニバナに似た高タンパク質、脂肪酸組成を持ち、ナッツの風味とオリーブオイルのテクスチャーを有する。また、従来の飼料と混合すると、優れた飼料として利用することもできる。生野菜または漬物としても利用可能で、ヨーロッパとアメリカのグルメ食品市場では高い価格がつけられる。水産養殖事業からの廃水を用いたサリコルニアの栽培試験などから、汚染土壌、特に高レベルの無機セレン酸塩を含む土壌の無害化も可能とされている。(文:トデリッチ クリスティーナ)

Salicornia bigelovii (The Dwarf Glasswort) is an annual plant of Amaranthaceae family growing in salt marshes. Perhaps the most promising of all halophytes currently under commercial cultivation. It is a coastal halophyte which grows in seawater; used as fodder and for the production of high-quality oil suitable for human consumption. Oil yield is usually around 30%, higher than many oilseed crops; it is also traditionally burned for soda ash used in glass and soap making. The commercial cultivars of *Salicornia* have demonstrated seed yields of 2-3 t/ha, biomass production of 20 t/ha. The oil has been known to possess a high protein, fatty acid composition similar to safflower with a nutty taste and the texture of olive oil. When mixed with traditional fodder, the residual meal makes an excellent feed supplement which could be used as green vegetable raw or pickled; this crop commands a high price in gourmet food markets in Europe and USA. The cultivation trials of *Salicornia* with wastewater from aqua-cultural operations have demonstrated the ability to detoxify contaminated soils, in particular those with high levels of inorganic selenate. (Kristina TODERICH)



点滴灌漑を用いて栽培されるサリコルニア(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Salicornia plants cultivated under drip irrigation (ICBA in Dubai, UAE).



野外への移植前に栄養豊富な容器で発芽したサリコルニア(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Seed germination in nutrient rich container before transplanting in the open field (ICBA in Dubai, UAE).



塩水灌漑下でのサリコルニア ビゲロヴィの種子生産に関する実験的試行(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Experimental trial on seed production of *S. bigelovii* irrigated with saline water (ICBA in Dubai, UAE).



成熟した油糧種子はバイオ燃料の生産にも使用される。また、種子はタンパク質含有量が高いため、動物飼料としても利用できる(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Mature oil-seeds of *S. bigelovii* used also for biofuel production; seed can also be used as animal feed due to its high protein contents (ICBA in Dubai, UAE).



サリコルニア ビゲロヴィの花(アラブ首長国連邦、ドバイの国際塩生農業研究所)。

Flowers of *S. bigelovii* (ICBA in Dubai, UAE).

写真提供者 Photo Provider

ウズベキスタン国立大学
National University of Uzbekistan, Uzbekistan

アキンシナ ナタリヤ
Nataliya AKINSHINA
p93

コンサルタント
Consultant, Uzbekistan

アパリン ベチャスラフ
Vechyaslav APARIN
p53左left

鳥取大学農学部
Faculty of Agriculture, Tottori University, Japan

遠藤 常嘉 Tsuneyoshi ENDO
p45 Fbottom, 46上右top right, 47, 68

コンサルタント
Consultant, Australia

ギンツブルガー グス
Gus GINTZBURGER
p24, 25中とFmiddle and bottom, 27, 84, 89上top, 89下中と右bottom middle and right, 95, 97上top

農業生物工学基金アドバイザー
Advisor, AGRI-BIOTECH Foundation, India

ヘグデ ナラヤン Narayan HEGDE
p71

カラチ大学
University of Karachi, Pakistan

イスマイル ショアイブ Shoaib ISMAIL
p78, 79, 96, 99上top

ウズベキスタン科学アカデミー考古学研究所
Institute of Archeology, Academy of Sciences of Uzbekistan, Uzbekistan

クジャナザロフ ムヒディン
Muhiddin KHUJANAZAROV
p89中middle, 97中とFmiddle and bottom

京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan

クジャナザロフ ティムール
Temur KHUJANAZAROV
p50, 51

元 鳥取大学農学部
Former Faculty of Agriculture, Tottori University, Japan

北村 義信 Yoshinobu KITAMURA
p64, 65

モスクワ州立大学土壌学部
Faculty of Soil Research, Moscow State University, Russia

コニュシュコヴァ マリア
Maria KONYUSHKOVA
p17 Fbottom, 53右right

コンサルタント
Consultant, Kazakhstan

コヴァレンコ アレクサンドロ
Alexandr KOVALENKO
p59

新疆農業大学
Xinjiang Agricultural University, China

マイマイテイ エリジャン
Ailijiang MAIMAITI
p43

サマルカンド国立大学
Samarkand State University, Uzbekistan

マルドノフ バクテイヨール
Bakhtyor MARDONOV
p94

農業・食品産業技術総合研究機構
National Agriculture and Food Research Organization, Japan

松井 佳世 Kayo MATSUI
p72-75

世界野菜センター
World Vegetable Center in Uzbekistan, Uzbekistan

マブリャノヴァ ラブザ
Ravza MAVLYANOVA
p85上と中top and Middle, 86, 87上top

国連開発計画コンサルタント
Consultant, United Nations Development Programme

ナザルクロフ ウミド
Umid NAZARKULOVO
p42 Fbottom, 85 Fbottom

タジキスタン農業科学アカデミー植物遺伝研究センター
Plant Genetic Research Center, Tajik Academy of Agricultural Sciences, Tajikistan

プロドフ マブロン Mavlon PULODOV
p81 Fbottom

サマルカンド国立大学
Samarkand State University, Uzbekistan

ラジャボフ トシュプロット
Toshpulot RAJABOV
p83, 89下左bottom left

元 国際塩生農業研究所
Former International Center for Biosaline Agriculture(ICBA), UAE

ラオ ナンドリ カメスヴァエラ
Kameswara RAO NANDURI
p80右right, 81上top

国際塩生農業研究所
International Center for Biosaline Agriculture(ICBA), UAE

シャヒド モハメド
Mohammed SHAHID
p82, 87 Fbottom, 90, 91上top, 98, 99中とFmiddle and bottom

ロシア連邦アカデミー植物生理学研究所
Plant Physiology Institute, Russian Academy of Sciences

シュイスカヤ エレナ
Elena SHUYSKAYA
p25上top

アラル海救済国際基金
International Fund for Saving the Aral Sea, Kazakhstan

スタンクローヴァ カイニ
Kaini STAMKULOVA
p56, 62, 63

鳥取大学農学部
Faculty of Agriculture, Tottori University, Japan

鈴木 洋平 Yohei SUZUKI
p49 Fbottom

鳥取大学農学部
Faculty of Agriculture, Tottori University, Japan

田中 秀樹 Hideki TANAKA
p49上top

京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan

田中 賢治 Kenji TANAKA
p67

鳥取大学 国際乾燥地研究教育機構
International Platform for Dryland Research and Education(IPDRE), Tottori University, Japan

トデリッチ クリスティーナ
Kristina TODERICH
p23, 29下bottom, 32-34, 35下bottom, 42上top, 58上top, 61上と中top and middle, 69, 70, 80左left, 88, 91 Fbottom, 92

鳥取大学 乾燥地研究センター
Arid Land Research Center, Tottori University, Japan

辻本 壽 Hisashi TSUJIMOTO
p58 Fbottom

ドクチュエフ土壌研究所
Dokuchaev Soil Research Institute, Russia

ベルバー-レベデバ マリナ
Marina VERBA-LEBEDEVA
p17上top

写真家
Special photographer, Uzbekistan

フェルヤーキン オタビヤン
Otaviyan VERYAKIN
p61 Fbottom

鳥取大学農学部
Faculty of Agriculture, Tottori University, Japan

山本 定博 Sadahiro YAMAMOTO
p40, 41, 45上top, 46上左とFtop left and bottom

鳥取大学 乾燥地研究センター
Arid Land Research Center, Tottori University, Japan

山中 典和 Norikazu YAMANAKA
表紙 cover, p6-13, 16, 18-22, 26, 29上top, 30, 31, 35上top, 36-39, 43, 76, 77, 裏表紙back cover



乾燥地の塩類集積

Salinization in Drylands

令和2年3月31日 発行

編集／山中典和・トデリッチ クリスティーナ

監修／鳥取大学乾燥地研究センター

発行／今井印刷株式会社

発売／今井出版

印刷／今井印刷株式会社

製本／日宝総合製本株式会社

謝辞：本書の出版にあたり、出版費の一部をアラムコ・アジア・
ジャパン株式会社様から支援いただきました。

ISBN978-4-86611-188-9

本書の無断複製（コピー）は著作権法上での例外を除き、禁じられています。

Issued: March 31st, 2020

Edited by Norikazu YAMANAKA and Kristina TODERICH

Editorial supervision by Arid Land Research Center, Tottori University

Issued by Imai Print Co., Ltd.

Distributed by IMAISYUPPAN

ACKNOWLEDGMENTS:

Aramco Asia Japan K.K. provided partial support
for publishing this book.



No part of this publication may be reproduced (copied) in any form
except for the exceptions stated in the Copyright Act.

ISBN978-4-86611-188-9

C0072 ¥1500E

今井出版

定価：本体1,500円＋税



9784866111889



1920072015001

