

PRACE GEOGRAFICZNE

zeszyt 153, 2018, 49–67

doi: 10.4467/20833113PG.18.003.8478

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

ZMIENNOŚĆ PRZESTRZENNA I CZASOWA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W JAPONII (1901–2015)

Diana Kopaczka

Spatial and temporal variability of atmospheric precipitation in Japan (1901–2015)

Abstract: The purpose of the study is to characterize the spatial and temporal variability of precipitation in Japan. This article uses data from 55 stations from the years 1901–2015. Annual patterns and preconditions of rainfall were analyzed. The range of variations for individual stations, the time of maximum and minimum occurrence, and the coefficients of precipitation irregularity were calculated. The temporal variability of rainfall was investigated using the linear trend method, the significance of which was determined by the tau-Kendall coefficient. The precipitation pattern in Japan shows a very strong variation throughout the country. The largest variability of annual precipitation totals is in the Hokuriku, Shikoku area along the Pacific Ocean and southeastern Kyushu with the archipelago of the Ryuku islands. The maximum monthly precipitation figures show a greater variability than the minimum values, and the time of their occurrence in each region is conditioned by the monsoon circulation and the location to the flow of major air masses and orographic barriers. Japan is characterized by a statistically insignificant decrease in the annual rainfall in most areas, but the variability of precipitation in different months and seasons shows different directions and the rate of change depending on the region.

Keywords: atmospheric precipitation, monthly precipitation sum, linear trend, Japan

Zarys treści: Celem opracowania jest charakterystyka przestrzennego i czasowego zróżnicowania warunków opadowych w Japonii. W artykule wykorzystano dane z 55 stacji z lat 1901–2015.

Analizowano przebieg roczny i wieloletni opadów oraz ich geograficzne i cyrkulacyjne uwarunkowania. Określono zakres zmienności dla poszczególnych stacji, czas występowania maksimum i minimum, a także obliczono współczynniki nieregularności opadów. Zmienność czasową opadów badano przy pomocy metody trendu liniowego, którego istotność określono współczynnikiem tau-Kendalla. Opady atmosferyczne w Japonii wykazują silne zróżnicowanie na całym obszarze kraju. Największa zmienność rocznych sum opadów cechuje obszar Hoku-riku, Sikoku wzdłuż Oceanu Spokojnego oraz południowo-wschodnie Kiusiu z archipelagiem wysp Riukiu. Maksymalne miesięczne sumy opadów wykazują większą zmienność niż wartości minimalne, a czas ich występowania w poszczególnych regionach warunkuje cyrkulacja monsunowa oraz lokalizacja względem napływu głównych mas powietrza i barier orograficznych. Japonię cechuje nieistotny statystycznie spadek rocznej sumy opadów na większości obszaru, natomiast zmienność sum opadów w poszczególnych miesiącach i sezonach wykazuje różne kierunki i tempo zachodzących zmian w zależności od regionu.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, sumy miesięczne opadów, trend liniowy, Japonia

Wstęp

Zmienność warunków klimatycznych wywiera ogromny wpływ na poszczególne sektory działalności człowieka. Długotrwałe utrzymywanie się wysokiej bądź niskiej temperatury powietrza, wystąpienie intensywnych opadów deszczu lub silnego wiatru oddziałuje niekorzystnie zarówno na gospodarkę i zdrowie człowieka, jak i środowisko naturalne. Opady atmosferyczne, będące podstawowym elementem klimatu, cechują się znaczną zmiennością przestrzenną i czasową, a analiza wieloletnich serii pomiarów meteorologicznych daje możliwość określenia zakresu wahań oraz kierunku i tempa zachodzących zmian. Problematyka ta wydaje się być istotna w kontekście szeroko omawianego postępującego globalnego ocieplenia. Według najnowszego raportu IPCC (2014) zmiany w średnich opadach atmosferycznych nad obszarami lądowymi w umiarkowanych szerokościach geograficznych wykazują tendencję rosnącą od 1901 r., jednakże dla innych szerokości geograficznych wieloletnie trendy, zarówno ujemne, jak i dodatnie, cechują się niskim poziomem wiarygodności, wynikającym z niewystarczającej ilości i jakości danych obserwacyjnych i pomiarowych.

Studia badawcze dotyczące rozkładu przestrzennego i wieloletnich zmian opadów atmosferycznych w Japonii są stosunkowo bogate, jednakże w związku z współczesnymi zmianami klimatu i wzrostem częstości występowania zjawisk ekstremalnych problematyka ta jest ciągle aktualna.

We wcześniejszych badaniach zmienność opadów atmosferycznych w Japonii analizowano głównie w aspekcie występowania intensywnych opadów deszczu, jednocześnie poświęcając mniej uwagi zmianom zachodzącym w regionalnym rozkładzie rocznych i sezonowych sum opadów atmosferycznych. Zastosowanie odmiennych metod statystycznych oraz odniesienie do innego horyzontu czaso-

wego, obejmującego również pierwsze 15-lecie XXI w., pozwala na szerszą analizę zmienności opadów atmosferycznych. Dodatkowo przedstawiono szczegółową charakterystykę geograficznych i cyrkulacyjnych uwarunkowań zmienności czasowej i przestrzennej opadów atmosferycznych.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka przestrzennego i czasowego zróżnicowania warunków pluwiometrycznych w Japonii na podstawie wieloletnich serii pomiarowych.

Pierwsze szczegółowe badania, skupiające się na zagadnieniu opadów na Wyspach Japońskich, rozpoczął Okada (1903), który w swojej pracy przedstawił całą ówczesną wiedzę na temat rozkładu przestrzennego i przebiegu rocznego opadów. Fukui (1934), analizując wieloletnie regionalne dysproporcje w rocznych sumach opadów, dokonał próby wyjaśnienia przyczyn ich zróżnicowania. W kolejnych latach japońscy klimatolodzy opisywali wahania sum opadów podczas sezonu *Bai-u* („śliwkowy deszcz”), który jest sezonem deszczowym występującym w Japonii na przełomie wiosny i lata, związanym z nadejściem monsunu letniego (Otani 1934), oraz zmienność sum opadów w porze letniej (Nakahara 1938). Po II wojnie światowej, w dobie rozwoju nowoczesnych metod statystycznych, rozpoczęto kolejne badania klimatologiczne nad opadami w Japonii (Stidd 1954; Mizukoshi 1962). Obszerną pracę dotyczącą opadów w aspekcie klimatologicznym przedstawił Suzuki (1967). Kikuchi (1969) badał sezonowe fluktuacje sum opadów, natomiast Sakaida (1987) na podstawie średnich miesięcznych sum opadów w okresie od grudnia do lutego w latach 1901–1980 określił zmienność opadów w porze zimowej. Iwashima i Yamamoto (1993) wykazali tendencję rosnącą w częstości pojawiania się ekstremalnych opadów nawałnych, a Yonetani (1992) przedstawił zmienność opadów i występowanie ekstremalnych anomalii w XX w., do których określenia zastosował test Lepage’a. Hashino i Yue (1994) udowodnili relację pomiędzy średnią miesięczną temperaturą powietrza i opadami w latach 1951–1980. Pod koniec XX w. zauważono, że w zachodniej Japonii liczba zdarzeń ekstremalnych związanych z opadami wzrasta w okresie trwania pory deszczowej i występowania cyklonów tropikalnych, natomiast od października do marca ich częstość spada (Hashino 1996). W późniejszym czasie Higashi i Matsuura (2003) zajęli się charakterystyką zmienności czasowej (1961–2002) oraz przestrzennej opadów w aspekcie relacji pomiędzy ENSO a roczną częstością dni z opadem nawałnym. Wykazano wówczas trend rosnący częstości dni z opadem nawałnym na wschodnim obszarze Japonii oraz spadek liczby takich dni w środkowej i zachodniej części kraju. Yue i Hashino (2003) w opracowaniu o wieloletnim trendzie rocznych i miesięcznych sum opadów, zwrócili uwagę na znaczne zróżnicowanie zachodzących zmian w poszczególnych regionach Japonii. Wzrost liczby dni z opadem nawałnym w latach 1998–2003 wykazał w kolejnych badaniach Fujibe i in. (2005, 2006).

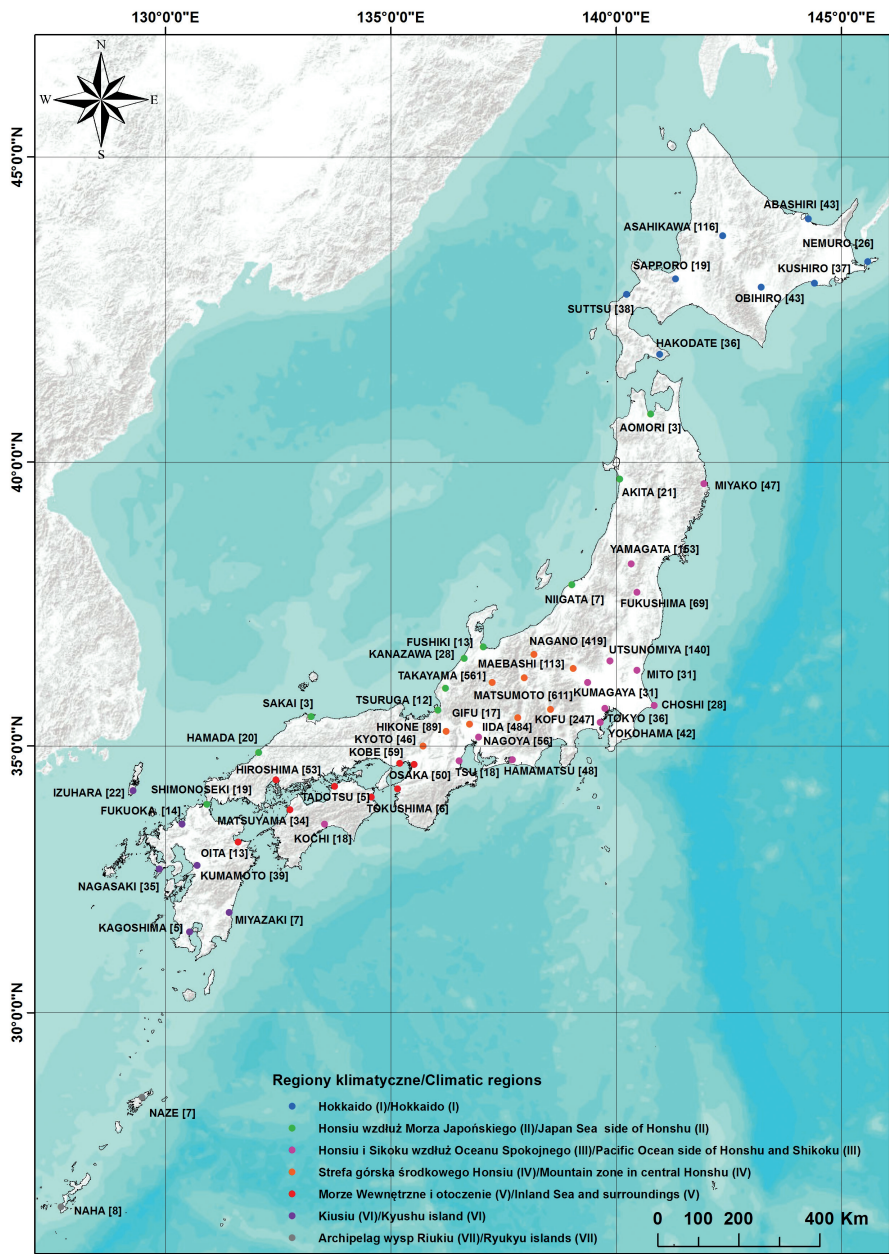
Materiały i metody badań

W opracowaniu wykorzystano wyniki pomiarów wykonywanych przez Japońską Służbę Meteorologiczną – Japan Meteorological Agency (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html>), zgodnie z zaleceniami i wymogami Światowej Organizacji Meteorologicznej. Dane obejmowały miesięczne sumy opadów atmosferycznych z 55 stacji meteorologicznych rozmieszczonych na obszarze całej Japonii. Pomiaru opadów atmosferycznych, trwające w Japonii od schyłku XIX w., umożliwiły wykorzystanie długiego okresu obejmującego lata 1901–2015. W przypadku kilku stacji (Hamamatsu, Hiroshima, Kagoshima, Naze, Naha) szeregi czasowe nie były w pełni kompletne, jednak zaistniałe braki dotyczyły jedynie pojedynczych miesięcy, głównie z roku 1945, co nie wpłynęło na jakość serii. W uzupełnieniu zerwanego szeregu w miesięcznych i rocznych sumach opadów zastosowano metodę ilorazów, wykorzystującą dane meteorologiczne z sąsiednich stacji pomiarowych.

Złożoność czynników wpływających na kształtowanie się warunków opadowych w Japonii przyczynia się do znacznego ich zróżnicowania na obszarze całego kraju. W analizie klimatycznej traktowanie Japonii jako całości nie ukazuje w pełni oddziaływania różnego rodzaju warunków lokalnych na przebieg poszczególnych elementów klimatu. Z tego względu do szczegółowej charakterystyki warunków pluwialnych Japonii wykorzystano podział całego obszaru na kilka regionów, który został zaproponowany przez Fukuiego (1977). W celu wykazania różnic w warunkach klimatycznych autor wydzielił siedem regionów, które charakteryzują się określonymi cechami zarówno w przebiegu elementów klimatu, jak i w czynnikach, które je kształtują: Hokkaido (I), Honsiu wzdłuż Morza Japońskiego (II), Honsiu i Sikoku wzdłuż Oceanu Spokojnego (III), Strefa górską środkowego Honsiu (IV), Morze Wewnętrzne i otoczenie (V), Kiusiu (VI) i archipeląg wysp Riukiu (VII) (ryc. 1).

Na kolejnych rycinach przedstawiono tylko wybrane stacje z poszczególnych regionów, w których serie danych klimatologicznych były kompletne i jednocześnie reprezentatywne dla danego regionu. Zamieszczone w opracowaniu mapy sporządzono na podstawie wyników własnych, przy wykorzystaniu podkładu mapy topograficznej opracowanej przy współpracy NOAA, USGS oraz Esri, w programie ArcMap w wersji 10.2.

Przedstawiono ogólną charakterystykę przebiegu rocznego opadów atmosferycznych w poszczególnych regionach Japonii. Analizę zmian czasowych miesięcznych, sezonowych (pory roku) i rocznych sum opadów atmosferycznych przedstawiono za pomocą metody trendu liniowego. Do badania siły związku monotonicznego między dwiema zmiennymi obliczono nieparametryczny współczynnik korelacji ciągu danych $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ oraz ciągu odpowiadających im momentów czasowych $[1, 2, \dots, n]$, znany jako współczynnik *tau Kendalla* (Kendall 1955). We wszystkich przeprowadzonych obliczeniach zastosowano program statystyczny PQStat w wersji 1.6.4.



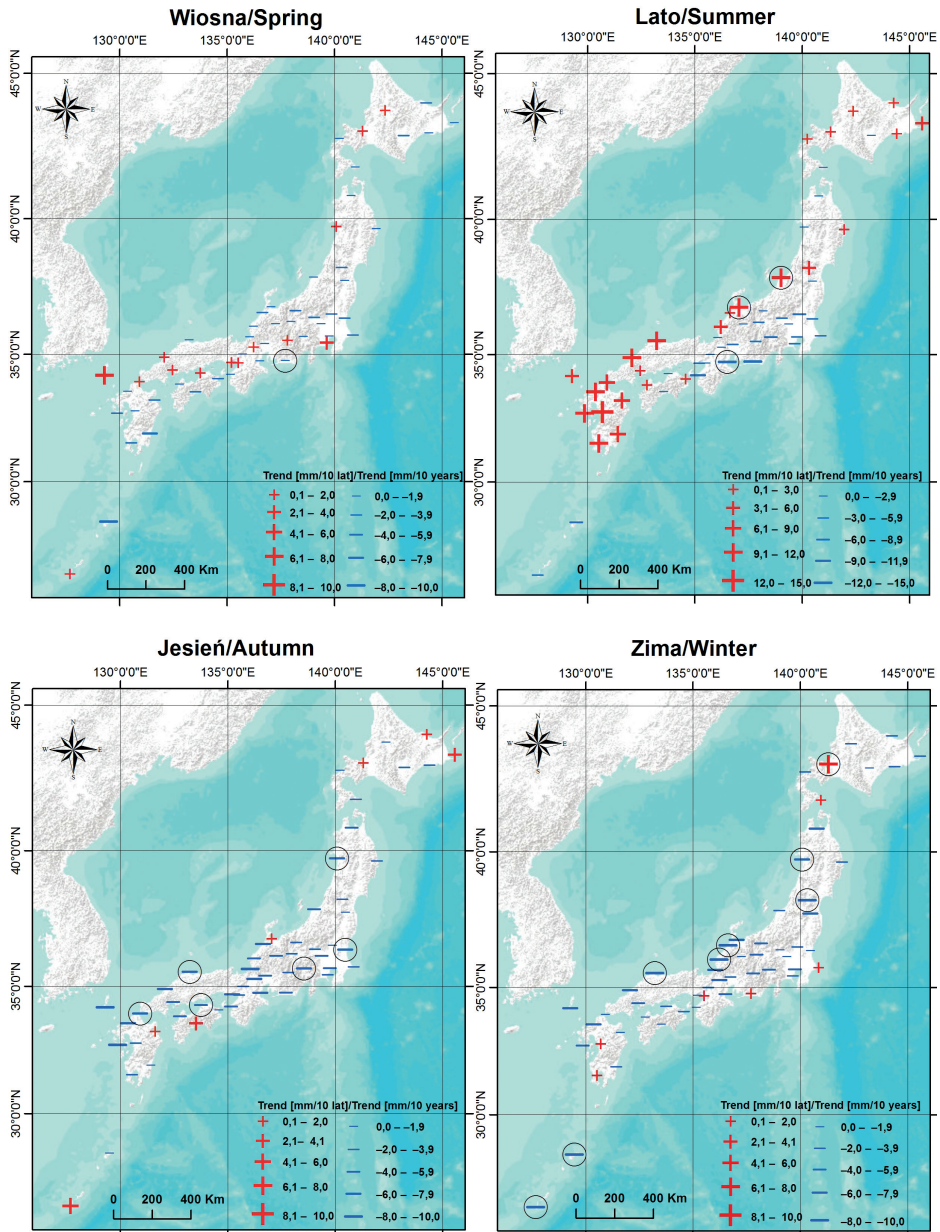
Ryc. 1. Rozmieszczenie stacji meteorologicznych wraz z podziałem na regiony klimatyczne Japonii

Fig. 1. Spatial distribution of meteorological stations along with the climatic regions of Japan
Objaśnienia: w nawiasach podano wysokość bezwzględna [m n.p.m.].

Explanations: altitude above sea level is shown in brackets.

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://old.wetterzentrale.de/klima/stnlst.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://old.wetterzentrale.de/klima/stnlst.html> (data dostępu: 15.06.2017).



○ istotność statystyczna na poziomie 0,05/Statistical significance on 0,05 level

Ryc. 5. Sezonowa zmienność sum opadów [mm/10 lat] w Japonii w latach 1901–2015
 Fig. 5. Seasonal change of atmospheric precipitation [mm/10lat] in Japan in the years 1901–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

Wieloletnią zmienność opadów badano ponadto za pomocą współczynnika nieregularności opadów, jako ilorazu sum maksymalnych do minimalnych (%). Przedstawiono podstawowe cechy przebiegów średnich rocznych sum opadów, czasu występowania maksimum i minimum opadów oraz ich zakresu zmienności.

Przebieg opadów w ciągu roku

W regionie Azji Wschodniej opady atmosferyczne są warunkowane przede wszystkim cyrkulacją monsunową, która wpływa na występowanie sezonów deszczowych o lokalnej nazwie *Bai-u*, co w wolnym tłumaczeniu oznacza „śliwkowy deszcz” (pojawia się późną wiosną lub wczesnym latem, zwiastując nadejście monsunu letniego) i *Shurin* lub zamiennie *Akisame*, oznaczający „jesienny deszcz” (rozpoczyna się na przełomie lata i jesieni, wskazując na koniec monsunu letniego), oraz okresów suchych. Rozciągłość południkowa Japonii pomiędzy 24 a 46°N przejawia się znacznym zróżnicowaniem sum opadów w poszczególnych częściach kraju (Fukui 1977). Wyspiarski charakter Japonii, oddziaływanie ciepłych i zimnych prądów morskich, uwidacznia kontrasty wilgotnościowe pomiędzy zachodnim a wschodnim wybrzeżem. Ogromne znaczenie ma również urozmaicona topografia, przez co większe sumy opadów występują po stronie dowiejrznej, natomiast w cieniu opadowym, w kotlinach górskich są one znacznie niższe (Kikuchi i in. 1988).

Na podstawie danych z wszystkich analizowanych stacji meteorologicznych w Japonii ustalono, że średnia wieloletnia roczna suma opadów wynosi 1623 mm. Na wyspie Hokkaido wartości tego elementu są najniższe i wynoszą średnio 1019 mm. Na krańcu północnym wyspy roczne sumy opadów na ogół nie przekraczają 1000 mm, natomiast na południu i południowym zachodzie wartości te mogą wzrastać do ponad 1500 mm. Wschodnie wybrzeże cechuje się niższymi sumami opadów w porównaniu z przeciwległym obszarem, co wiąże się z oddziaływaniem chłodnego prądu morskiego *Oja-siwo*, który obniża temperaturę powietrza i przyczynia się do spadku sumy opadów. Maksimum roczne opadów przypada na sierpień/wrzesień, jednakże średnie miesięczne nie przekraczają 200 mm. W porze letniej wyższe opady występują nad Oceanem Spokojnym, natomiast w związku z monsunem zimowym w miesiącach chłodnych wyższe wartości cechują zachodni kraniec wyspy. Minimum pojawia się w zimie bądź na wiosnę, kiedy następuje faza przejściowa pomiędzy monsunami.

Na zachodnim wybrzeżu Honsiu wieloletnia średnia roczna suma opadów wynosi średnio 1940 mm. Znaczna rozciągłość wyspy wpływa na silne zróżnicowanie w rozkładzie przestrzennym. Na północy opady są najniższe, natomiast w środkowej części wyspy przekraczają 2000 mm. Maksymalne sumy opadów w ciągu roku są mierzone głównie w miesiącach zimowych (grudzień–luty), kiedy obszar ten jest

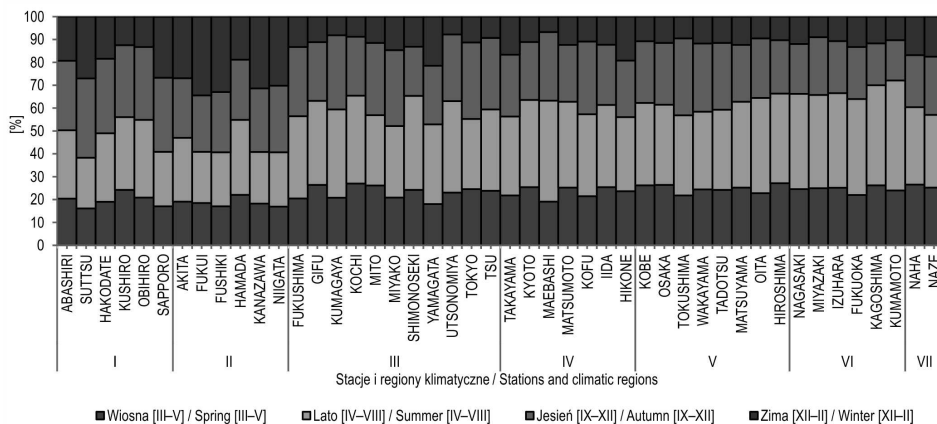
wystawiony na bezpośrednie działanie monsunu wiejącego znad lądu azjatyckiego. Na niektórych stacjach (Kanazawa, Fushiki, Tsuruga) miesięczne sumy opadów przekraczają wówczas 300 mm. Na południu wybrzeża od Morza Japońskiego maksimum uwidacznia się podczas sezonu deszczowego w czerwcu i lipcu. Podobnie jak na Hokkaido, minimum pojawia się w okresie wiosennym, a dokładniej w kwietniu. Wówczas na większości obszaru opady nie przekraczają 150 mm.

Opady na wschodnim wybrzeżu Honsiu i Sikoku wykazują silne zróżnicowanie. Wieloletnia suma roczna opadów dla tego obszaru wynosi 1766 mm. Zauważa się zależność między lokalizacją a sumą opadów, bowiem im niższa szerokość geograficzna, tym opady są wyższe. Na północy, w Tohoku, średnie roczne sumy opadów nie przekraczają 1300 mm, natomiast na Sikoku wzrastają do ponad 2000 mm. Najwyższe roczne sumy opadów w Japonii przypadają na miasto Owase, zlokalizowane w południowo-wschodniej części półwyspu Kii, gdzie dochodzą średnio do 4000 mm. Tak duże sumy opadów wiążą się z nałożeniem dwóch czynników, a mianowicie bliskiej odległości od przepływającego ciepłego prądu morskiego *Kuro-siwo* oraz górzystym charakterem tego obszaru. Opady letnie w tym regionie stanowią 30–40% rocznej sumy opadów (ryc. 2). Minimum pojawia się na ogół w półroczu chłodnym, kiedy średnie miesięczne są niższe od 100 mm. Na północy regionu minimum przypada od lutego do kwietnia, natomiast na pozostałym obszarze w grudniu.

Górzysta, środkowa część Honsiu cechuje się relatywnie niskimi opadami, które w wieloleciu wyniosły średnio 1344 mm. Wyższe roczne sumy opadów wyróżniają region Kansai, znajdujący się w bliższej odległości od morza/oceanu. Obszary położone w centrum wyspy Honsiu charakteryzują się opadami do 1300 mm. Wystąpienie pory deszczowej wyraźnie uwidacznia się w czerwcu bądź lipcu, a drugim maksimum w ciągu roku jest wrzesień związany z okresem *Shurin*, kiedy od północnego wschodu nad obszar Japonii przemieszcza się strefa frontalna przynosząca znaczną zmienność pogody i intensywne opady deszczu. We wszystkich stacjach najniższe średnie miesięczne sumy opadów występują w grudniu, z wyjątkiem Hikone, w którym minimum roczne opadów przypada na listopad.

Wokół Morza Wewnętrznego roczne sumy opadów są dosyć zmienne, a największe wartości charakteryzują północno-wschodni kraniec Kiusiu. Maksimum występuje od czerwca do września (ryc. 3), a opady deszczu w tych czterech miesiącach stanowią nawet 50% rocznej sumy opadów. Najniższe sumy opadów przypadają na porę zimową (grudzień i styczeń). Z powodu otoczenia tego regionu łańcuchami górskimi, wilgotne masy powietrza w zimie zatrzymują się na stronie dowietrznej, nie przynosząc tym samym znacznych opadów deszczu.

Na wyspie Kiusiu wieloletnia roczna suma opadów wynosi średnio 2100 mm. Wyższe sumy opadów występują na południowym wschodzie, natomiast niższe w części północno-zachodniej wyspy. Podczas *Bai-u*, kiedy opady są największe,



Ryc. 2. Udział [%] sezonowych opadów atmosferycznych w sumie rocznej na wybranych stacjach meteorologicznych w Japonii w latach 1901–2015

Fig. 2. Percentage share of seasonal atmospheric precipitation in the annual sum at selected meteorological stations of Japan in the years 1901–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

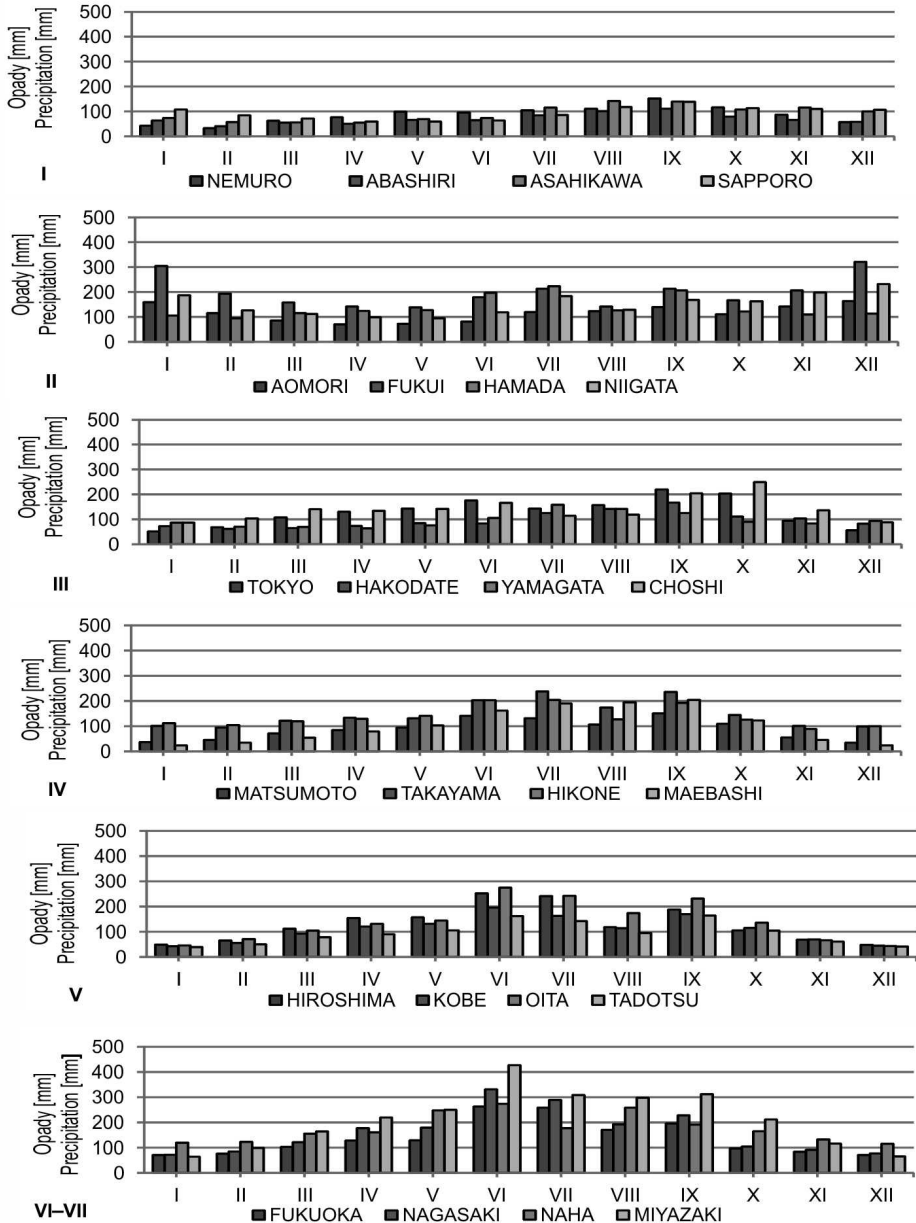
Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

średnie miesięczne dochodzą nawet do 500 mm (ryc. 3). Minimum przypada na grudzień i styczeń, a więc podczas monsunu zimowego. W tych miesiącach średnie miesięczne sumy są niższe od 100 mm. Wiosna jest porą wilgotniejszą od jesieni i przypada na nią około 25% ogólnej sumy opadów w ciągu roku.

Archipeląg wysp Riukiu, Izu i Ogasawara to obszary ze średnimi opadami oscylującymi wokół 2220 mm. W Naze i Naha, które leżą w archipelagu wysp Riukiu, średnie sumy opadów w skali roku przekraczają 2000 mm. W przebiegu rocznym wyraźnie zaznacza się letni monsun wschodnioazjatycki i związana z nim pora deszczowa w maju i czerwcu. W Naze przez cały rok średnie miesięczne sumy opadów przekraczają 150 mm.

Przebieg wieloletni rocznych sum opadów

Wieloletnie zmiany rocznych sum opadów wykazują duże zróżnicowanie w kolejnych latach, które zaznacza się zarówno między poszczególnymi regionami, jak i wewnątrz



nich. Największą zmiennością tego elementu cechuje się obszar Hokuiku (stacje: Kanazawa, Fushiki, Tsuruga), Sikoku wzdłuż Oceanu Spokojnego (Kochi) oraz południowo-wschodnia część wyspy Kiusiu (Miyazaki, Kagoshima) wraz z Okinawą (Naha) i Amami Oshima (Naze). Ekstremalne roczne sumy opadów na poszczególnych stacjach występowały w różnych latach w badanym wieloleciu (tab. 1). Jednakże należy zwrócić uwagę, że niektóre lata (1984, 1993, 1994, 1998) odznaczyły się jako wyjątkowo suche bądź mokre nawet w kilku regionach.

Zmienność warunków klimatycznych oraz występowanie anomalii nad Azją Wschodnią zależy od wielu czynników, a zwłaszcza od temperatury powierzchni oceanu (SST) na zachodnim Pacyfiku i Oceanie Indyjskim (Hu i in. 2003), wschodnioazjatyckiego prądu strumieniowego (Liang, Wang 1998), ośrodka wyżowego znad wschodniego Oceanu Spokojnego (Gong, Ho 2002) i w mniejszym stopniu od Oscylacji Południowej (Yang i in. 2002).

Zmiany opadów obserwuje się również w przypadku średnich dekadowych sum opadów. Na Hokkaido niewielki wzrost opadów zaznacza się w latach 1911–1920. Najmniejsze roczne sumy opadów wystąpiły w pierwszym 10-leciu badanego okresu (Abashiri, Nemuro, Sapporo) oraz w latach 1981–1990 (Obihiro, Asahikawa). Przebieg 10-letnich średnich sum opadów w pozostałych regionach wykazuje wyraźne podobieństwo. Od lat 1911–1920 widoczna jest tendencja spadkowa, która utrzymuje się do końca lat 40. XX w., po czym we wszystkich regionach (z wyjątkiem Hokkaido) następuje stopniowy wzrost, aż do maksimum w okresie 1951–1960. Wówczas większość regionów cechowała się najwyższymi dekadowymi sumami opadów w całym wieloleciu. Od początku lat 70. dominował spadek wartości, natomiast ponowny wzrost obserwuje się od ostatniego dziesięciolecia XX w. (ryc. 4).



Ryc. 3. Przebieg roczny opadów atmosferycznych na wybranych stacjach meteorologicznych w Japonii w latach 1901–2015

Fig. 3. Temporal distribution of atmospheric precipitation at selected meteorological stations of Japan in the years 1901–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

Tab. 1. Średnie, maksymalne i minimalne, roczne sumy opadów na wybranych stacjach meteorologicznych w Japonii w latach 1901–2015

Table 1. Mean, maximum and minimal annual precipitation sums at selected meteorological stations of Japan in the years 1901–2015

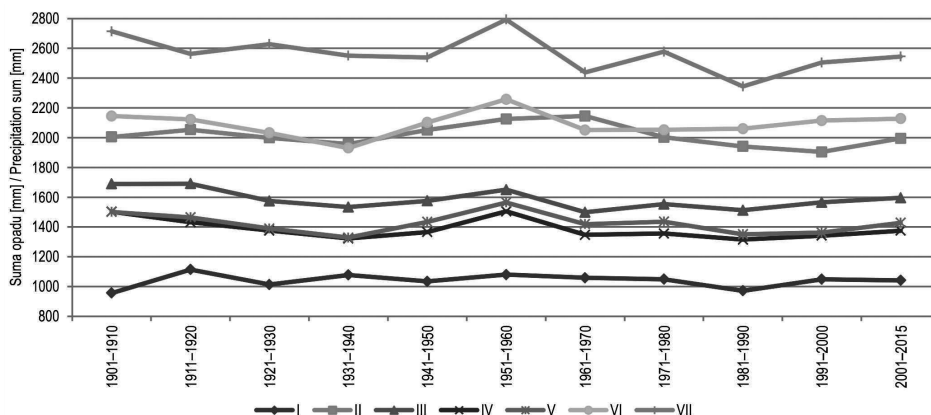
Stacja Station	Region Region	Suma roczna [mm] Annual sum [mm]			Współczynnik nieregularności Irregularity coefficient	Tendencja Tendency
		Średnia Mean	Maksymalna Maximum	Minimalna Minimum		
Hakodate	I	1168,9	1589,2 (1932)	673,0 (1984)	2,4	malejąca
Abashiri	I	840,5	1231,4 (1912)	544,8 (1905)	2,3	malejąca
Asahikawa	I	1104,5	1741,2 (1955)	728,0 (1984)	2,4	rosnąca
Sapporo	I	946,5	1671,5 (1981)	725,0 (1984)	2,3	rosnąca
Kushiro	I	999,4	1703,9 (1920)	704,5 (1984)	2,4	malejąca
Akita	II	1769,1	2439,4 (1922)	1230,5 (1994)	2,0	malejąca
Kanazawa	II	2533,7	3476,2 (1917)	1600,5 (1994)	2,2	malejąca
Kochi	III	2624,1	4383,0 (1998)	1543,6 (1930)	2,8	malejąca
Fukushima	III	1161,9	1612,5 (1991)	652,5 (1973)	2,5	malejąca
Tokio	III	1549,0	2229,6 (1938)	879,5 (1984)	2,5	malejąca
Takayama	IV	1776,8	2385,0 (1945)	1181,0 (1994)	2,0	malejąca
Mito	II	1394,4	2096,8 (1920)	760,5 (1984)	2,8	malejąca
Tsu	II	1697,2	2332,3 (1959)	928,0 (2005)	2,5	malejąca
Nagano	IV	977,0	1296,9 (1903)	555,5 (1994)	2,3	malejąca
Kofu	IV	1171,7	1876,3 (1938)	705,6 (1940)	2,7	malejąca
Kioto	IV	1558,9	2150,6 (1921)	880,5 (1994)	2,4	malejąca
Oita	V	1659,6	2859,0 (1993)	986,5 (1978)	2,9	rosnąca
Osaka	V	1338,4	1858,0 (1903)	744,0 (1994)	2,5	malejąca
Hiroshima	V	1555,9	2540,9 (1923)	739,5 (1978)	3,4	malejąca
Matsuyama	V	1351,9	2040,4 (1943)	696,0 (1994)	2,9	malejąca
Miyazaki	VI	2533,9	4174,5 (1993)	1498,9 (1904)	2,8	malejąca
Kagoshima	VI	2300,5	4022,0 (1993)	1478,8 (1904)	2,7	rosnąca
Gifu	IV	1903,1	2811,0 (1903)	1208,1 (1994)	2,3	malejąca
Naze	VII	3003,0	4429,5 (1959)	1708,8 (1963)	2,6	malejąca
Naha	VII	2122,0	3322,0 (1998)	969,8 (1963)	3,4	malejąca
Fukuoka	VI	1645,5	2876,5 (1980)	891,0 (1994)	3,2	rosnąca
Tadotsu	V	1130,2	1714,2 (1923)	678,5 (1994)	2,5	malejąca
Wakayama	V	1423,1	2030,9 (1905)	617,0 (1994)	3,3	malejąca
Nagasaki	VI	1945,4	2842,3 (1993)	922,0 (1994)	3,1	malejąca

Objaśnienia: pogrubiona czcionka oznacza istotność statystyczną na poziomie 0,05.

Explanations: bold type indicates statistical significance at the 0.05 level.

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).



Ryc. 4. Średnie 10-letnie roczne sumy opadów atmosferycznych w regionach klimatycznych Japonii w latach 1901–2015

Fig. 4. Average 10-years sum of annual atmospheric precipitation in the climatic regions of Japan in the years 1901–2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

Tendencje rocznych i sezonowych sum opadów

Roczne sumy opadów wykazują na większości obszaru nieistotną statystycznie tendencję rosnącą bądź malejącą. Największy spadek wartości przypada na stacje Naze ($-26,3$ mm/10 lat), Tsu ($-24,6$ mm/10 lat) oraz Hamamatsu ($-21,3$ mm/10 lat), na których współczynnik korelacji tau-Kendalla wykazuje istotność statystyczną (ryc. 5). W Sapporo i Kagoshimie zaznacza się tendencja dodatnia. Sumy opadów w poszczególnych porach roku oraz miesiącach wykazują różne kierunki i tempo zmian, które tylko w pojedynczych przypadkach wykazuje istotność statystyczną na poziomie 0,05 (ryc. 5).

W sezonie wiosennym (III–V) większość obszaru Japonii cechuje się spadkiem sum opadów, natomiast latem (VI–VIII) jedynie na przeważającej części Hokkaido, zachodniego Honsiu oraz na wyspie Kiusiu dominuje tendencja dodatnia, której istotność statystyczną stwierdza się w Fushiki i Niigacie. W porze jesiennej zaledwie kilka stacji (Naha, Oita, Kochi, Fushiki, Sapporo, Nemuro, Abashiri) charakteryzuje się przyrostem sum opadów. Podobna sytuacja występuje w zimie, jednakże przyrost

bądź spadek sum opadów osiąga znacznie mniejsze wartości w porównaniu z sezonem jesiennym. Jednocześnie w tych porach roku największa liczba stacji wykazuje istotność statystyczną obserwowanych zmian.

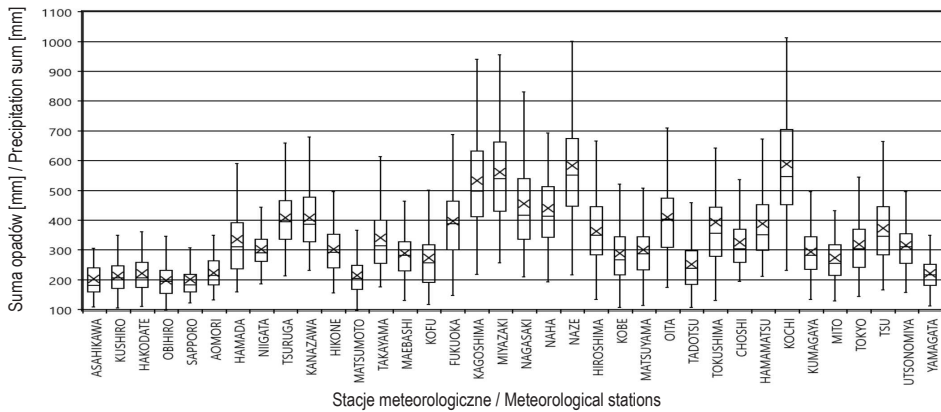
Na Hokkaido tendencja ujemna dominuje w okresie I–IV oraz we IX. W pozostałych miesiącach stwierdza się kierunek dodatni zachodzących zmian. Na wybrzeżu wzdłuż Morza Japońskiego tendencja spadkowa zaznacza się w miesiącach: I–II, IV, VI, IX–X, XII. Wybrzeże wzdłuż Oceanu Spokojnego wykazuje na większości obszaru wzrost sum opadów w VII i XI, natomiast w pozostałych miesiącach obserwuje się tendencję ujemną. Strefa górską środkowego Honsiu charakteryzuje się spadkiem sum opadów w miesiącach: I–II, IV, VI–X, XII, natomiast region Morza Wewnętrznego i otoczenia w: I, IV, VI, VIII–X, XII. Na Kiusiu wzrost sum opadów zaznacza się w: II, V, VII–VIII, XI, a na wyspach należących do archipelagu wysp Riukiu jedynie we wrześniu.

Zmienność ekstremalnych miesięcznych sum opadów

W Hokkaido ekstremalne miesięczne sumy opadów wynoszą średnio 460 mm, a stacją, na której zanotowano największe opady w ciągu miesiąca, jest Sapporo (ryc. 6). W części północnej wyspy maksymalne sumy opadów w ciągu roku nie przekraczają 300 mm, natomiast na wschodzie dochodzą do 430 mm (Nemuro). Najniższe maksima opadów oscylowały na wszystkich stacjach wokół 100 mm. Średnie minimalne sumy opadów w ciągu roku wynoszą około 35 mm na zachodzie wyspy, 20 mm na wschodzie i północy, na co wpływa oddziaływanie zimnego prądu *Oja-siwo*. Najwyższe minima w wieloleciu nie przekraczały 100 mm, natomiast w Kushiro pojawiły się lata, kiedy nie wystąpił żaden opad w ciągu miesiąca (listopad 1984 r.).

Wybrzeże wzdłuż Morza Japońskiego cechuje się znacznie wyższymi maksymalnymi sumami opadów w ciągu roku. Na północy regionu warunki kształtują się podobnie jak na Hokkaido, natomiast w środkowej części wyspy najwyższe maksima w wieloleciu oscylowały wokół 750 mm (stacje: Tsuruga, Hamada). Spośród wszystkich stacji na tym obszarze najniższe maksima oscylują wokół 190 mm. Jedynie w regionie Hokuriku w ciągu badanego okresu wartości tego elementu przekraczały 220 mm. Najwyższe minimalne sumy opadów w wieloleciu cechują stację Kanazawa, gdzie średnia wartość tego elementu wyniosła 80 mm, natomiast najniższe przypadają na Aomori (37 mm). Największy zakres zmienności zaznacza się na stacji Kanazawa i Fukui (ryc. 7).

W obszarze górskim środkowego Honsiu najwyższe maksimum przypada na Maebashi (735 mm), natomiast na pozostałym obszarze, oprócz Hikone oraz Matsumoto, nie spada poniżej 400 mm. Najniższe maksimum dla całego regionu wyniosło średnio 130 mm, a jedynie na stacji Matsumoto spadło poniżej 100 mm. Największą



Ryc. 6. Zmienność maksymalnych miesięcznych sum opadów na wybranych stacjach meteorologicznych w Japonii w latach 1901–2015

Fig. 6. Variability of maximum monthly precipitation sum at selected meteorological stations in Japan in the years 1901–2015

Objaśnienia: X – mediana, ramka – 25–75%, wąsy – wartość maksymalna i minimalna.

Explanations: X – median, box – 25–75%, whiskers – maximum and minimum value.

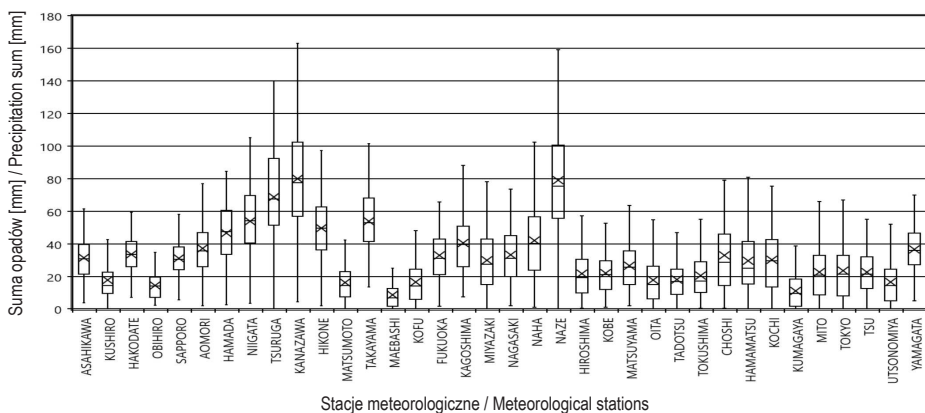
Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

zmiennością w maksymalnych sumach opadów w ciągu roku cechuje się Maebashi, gdzie amplituda przekroczyła 600 mm. W Takayamie minimalne sumy opadów w wieloleciu cechują się największymi wartościami (54 mm), a w Hikone wykazuje największą zmienność (95 mm).

W otoczeniu Morza Wewnętrznego najwyższe maksymalne miesięczne sumy opadów wystąpiły w Tokushimie (1065 mm), a średnia dla całego regionu wynosi 746 mm. Najniższe maksima na każdej stacji, z wyjątkiem Wakayamy, przekraczały 100 mm. W Tokushimie, amplituda z całego badanego wielolecia osiągnęła najwyższą wartość 935 mm. W otoczeniu Morza Wewnętrznego minimalne sumy opadów w ciągu roku oscylują średnio wokół 20–30 mm. Na żadnej stacji wartość tego elementu w wieloleciu nie przekroczyła 80 mm.

Na wybrzeżu Honsiu i Sikoku wzdłuż Oceanu Spokojnego najwyższe maksima sięgały do 1561 mm (Kochi), jednocześnie na tej stacji zmienność tego elementu w całym wieloleciu jest największa. Najniższe maksima oscylowały wokół 100 mm



Ryc. 7. Zmienność minimalnych miesięcznych sum opadów na wybranych stacjach meteorologicznych w Japonii w latach 1901–2015

Fig. 7. Variability of minimum monthly precipitation sum at selected meteorological stations in Japan in the years 1901–2015

Objaśnienia: X – mediana, ramka – 25–75%, wąsy – wartość maksymalna i minimalna.

Explanations: X – median, box – 25–75%, whiskers – maximum and minimum value.

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (data dostępu: 15.06.2017).

Source: authors own elaboration based on <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/en/smp/index.html> (access date: 15.06.2017).

na północy, w regionie Tohoku, natomiast kierując się na południe, zauważa się wzrost maksymalnych opadów. Biorąc pod uwagę minima, stwierdza się podobny przebieg jak w poprzednim regionie. Jedynie stacje Kochi, Choshi i Miyako wykazują wieloletnią zmienność powyżej 100 mm (ryc. 7).

Na Kiusiu i wyspach archipelagu Riukiu maksima w ciągu roku cechują się największymi wartościami spośród wszystkich regionów. Na każdej stacji najwyższe maksima przekraczają 1000 mm, nie osiągając jednocześnie 1500 mm. Znaczną rozpiętością pomiędzy wartościami granicznymi cechuje się Kumamoto (1065 mm) oraz Naze na wyspie Amami Oshima (1263 mm). Na Kiusiu najwyższe minima wahają się od 97 mm (Miyazaki) do 73 mm (Kumamoto), natomiast na wyspach archipelagu Riukiu zakres zmienności zawiera się od 131 mm (Naha) do 188 mm (Naze). Najniższe minimalne sumy opadów wynoszą średnio 2 mm.

Maksymalne sumy opadów cechują się przewagą nieistotnej statystycznie tendencji wzrostowej na Hokkaido, Honsiu, wzdłuż Morza Japońskiego, Kiusiu oraz w otoczeniu Morza Wewnętrznego, co potwierdza zachodzące globalnie zmiany

klimatyczne, których skutkiem jest zwiększenie częstości występowania opadów nawalnych i ulewnych. Konsekwencją wzrostu maksymalnych sum opadów w tych regionach mogą być częstsze powodzie i intensywniejsza erozja gleb, która na obszarze górskim, jakim jest Japonia, może powodować znaczne zmiany w środowisku. W przypadku tendencji ujemnej jedynie Tsu i Kofu wykazują istotne statystycznie zmiany wartości.

Większość obszaru charakteryzuje się spadkiem minimalnych sum opadów, którego istotność stwierdzono w Fukushima, Gifu, Miyako, Nagani, Naha, Naze i Nagasaki, co w przyszłości może odzwierciedlić się w wydłużaniu okresów z niedoborem opadów.

Dyskusja wyników

Przeprowadzona analiza klimatyczna dotycząca zmienności przestrzennej i czasowej opadów atmosferycznych pozwoliła na zrealizowanie celów postawionych w rozdziale pierwszym, jednocześnie potwierdzając wyniki wcześniejszych badań, prowadzonych w różnych skalach czasowych i przestrzennych (Yue, Hashino 2003; Duan i in. 2015). W ciągu analizowanego okresu, obejmującego 115 lat, roczne sumy opadów na obszarze Japonii wykazują tendencję spadkową zgodnie z wynikami Fujibe i in. (2005), Kimoto (2005), Duan i in. (2015). Niedobór opadów w połączeniu ze stwierdzonym wzrostem temperatury powietrza (Yue, Hashino 2003; Schaefer, Domroes 2009; Fujibe 2011) na gęsto zaludnionym obszarze, jakim jest Japonia, może w przyszłości skutkować znacznymi trudnościami w gospodarowaniu zasobami wodnymi. Należy podkreślić, że największe wahania opadów atmosferycznych przypadają na regiony o najwyższych sumach opadów w ciągu roku, przez co obszary te wymagają szczególnej uwagi w kontekście planowania inwestycji hydrotechnicznych.

Stwierdzono, że wieloletnie przebiegi sum opadów atmosferycznych wykazują w niektórych latach wyraźne podobieństwa między regionami, co wskazuje na dużą rolę czynników cyrkulacyjnych w kształtowaniu sum opadów. W badanym wieloleciu na uwagę zasługuje rok 1993, wyróżniający się na dużym obszarze Japonii opadami znacznie powyżej normy wieloletniej. Wówczas Japonia, północne Chiny, a także Półwysep Koreański doświadczyły chłodnego lata z kulminacją wysokich sum opadów w porze letniej. Odwrotna sytuacja wystąpiła w roku kolejnym, kiedy wymieniony obszar został dotknięty długotrwałymi falami upałów i suszą, a powodem tak dużego kontrastu w warunkach pogodowych pomiędzy rokiem 1993 i 1994 były zupełnie odmienne cechy cyrkulacji atmosferycznej. Badając relację pomiędzy SST na zachodnim Pacyfiku w szerokościach zwrotnikowych a klimatem Azji Wschodniej, zauważono, że w przypadku cieplejszego oceanu nad obszarem Japonii, północnych Chin, Półwyspu Koreańskiego występowały lata suche i gorące, natomiast ujemna

anomalia SST wiązała się z wilgotną i chłodną porą letnią (Yoo, Ho 2004). Należy jednak zaznaczyć, że wystąpienie takich anomalii klimatycznych wiąże się również z intensywnością cyrkulacji monsunowej, która mierzona wskaźnikiem Lau i in. (2000) była znacznie większa podczas pory letniej w latach 1980, 1982 oraz 1993. Inni klimatolodzy (Nakamura, Fukamachi 2004; Kodama, Asano 2009) zwrócili także uwagę na stagnację Wyżu Ochockiego, który latem 1993 r. wraz z pojawieniem się frontu *Bai-u* oraz napływem chłodnych i wilgotnych mas powietrza *Yamase* przyczynił się do ograniczenia dopływu promieniowania słonecznego, co w konsekwencji wpłynęło na znaczne anomalie temperatury powietrza i opadów. W roku kolejnym, kiedy roczne sumy opadów przyjmowały na znacznym obszarze kraju największe ujemne odchylenia od średniej wieloletniej, decydujący wpływ wywarł międzyzwrotnikowy ośrodek wyżowy znad Pacyfiku, któremu towarzyszyły wysokie temperatury powietrza i niewielkie opady (Fujibe 1996).

Przewaga tendencji ujemnych potwierdza się również w przypadku sezonowych sum opadów, co wykazał również Duan i in. (2015). Jednakże jedynie w porze jesiennej (IX–XI) i zimowej (XII–II) na kilku stacjach zachodzące zmiany są istotne statystycznie, a latem (VI–VIII) na przeważającej części Hokkaido, zachodniego Honsiu oraz na wyspie Kiusiu dominuje tendencja dodatnia, której istotność statystyczną stwierdza się w Fushiki i Niigacie.

Zmiany miesięcznych sum opadów wykazują duże zróżnicowanie, co na podstawie danych z lat 1901–2000 potwierdza również Yue i Hashino (2003). W swoich badaniach, wykorzystujących test Manna-Kendalla oraz korelację krzyżową, stwierdzili istotny statystycznie przyrost sum opadów w maju oraz spadek w grudniu.

Przy badaniu wieloletniej zmienności ważne jest zachowanie homogeniczności serii danych klimatologicznych, której brak może nie dać jasnych wyników dotyczących zmian zachodzących w warunkach klimatycznych. Zazwyczaj długie serie pomiarowe są narażone na brak jednorodności danych, wynikający z czynników pozaklimatycznych (np. zmiana przyrządu pomiarowego, relokacja stacji pomiarowej, zmiana metody wykonywania pomiaru, zmiana otoczenia), co powoduje, że wykorzystywane dane nie są w pełni reprezentatywne dla badania rzeczywiście zachodzących zmian klimatycznych. Z tego względu przeprowadzona analiza może być obciążona pewnym błędem wynikającym z wcześniej wspomnianych czynników.

Podsumowanie i wnioski

Niniejsze opracowanie ukazało przestrzenne i czasowe zróżnicowanie opadów atmosferycznych w Japonii. Przeprowadzona analiza potwierdziła znane z literatury prawidłowości i pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Do najważniejszych czynników warunkujących stosunki pluwiometryczne w Japonii należą: cyrkulacja monsunowa, rozciągłość południkowa, wyspiarski charakter kraju, prądy morskie, topografia;
2. Wysokie sumy opadów cechują pasy wybrzeża, od Kiusiu po Tokio oraz wzdłuż niemalże całego zachodniego wybrzeża Honsiu, a także łańcuchy górskie, które są skierowane równoległe do morza bądź oceanu;
3. Największa zmienność w rocznych sumach opadów cechuje obszar Hokuriku, południowego Honsiu i Sikoku wzdłuż Oceanu Spokojnego oraz południowo-wschodnie Kiusiu z archipelagiem wysp Riukiu;
4. Anomalie rocznej sumy opadów w poszczególnych regionach wykazują znaczne różnice w wysokości sum opadów pomiędzy stacjami oraz wyraźne podobieństwo w czasowym rozkładzie okresów spadku i wzrostu sum opadów, jednakże na każdej stacji są lata, które odstają od tej ogólnej prawidłowości;
5. Średnie 10-letnie rocznych sum opadów wykazują podobieństwo pomiędzy regionami, a największe wartości wystąpiły w latach 1901–1910 oraz 1951–1960;
6. Czas występowania maksimum i minimum sum opadów w poszczególnych regionach oraz między stacjami jest znacznie zróżnicowany, a najważniejszym czynnikiem wpływającym na te różnice jest cyrkulacja monsunowa oraz lokalizacja względem głównych kierunków napływu mas powietrza i barier orograficznych;
7. Maksymalne sumy opadów cechują się większą zmiennością w wieloleciu niż minima, co wiąże się przede wszystkim z intensywnością oddziaływania cyrkulacji monsunowej i występowaniem sezonów deszczowych;
8. Największy udział w rocznej sumie opadów mają opady letnie i jesienne, jednak na zachodzie Honsiu dużą rolę odgrywają opady zimowe;
9. Japonię cechuje nieistotny statystycznie spadek rocznej sumy opadów na większości obszaru, natomiast zmienność sum opadów w poszczególnych miesiącach i sezonach wykazuje różne kierunki i tempo zachodzących zmian w zależności od regionu.

Literatura

- Duan W., He B., Takara K., 2015, *Changes of precipitation amounts and extremes over Japan between 1901 and 2012 and their connection to climate indices*, *Climate Dynamics*, 45 (7), 2273–2292.
- Fujibe F., 1996, *Boundary Layer Features of the 1994 Hot Summer in Japan*, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 74 (2), 259–272.
- Fujibe F., Yamazaki N., Katsuyama M., 2005, *Long-term trends in the diurnal cycles of precipitation frequency in Japan*, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 55, 13–19.
- Fujibe F., Yamazaki N., Katsuyama M., Kobayashi K., 2005, *The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years*, *SOLA*, 1, 41–44.

- Fujibe F., Yamazaki N., Kobayashi K., 2006, *Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901–2004)*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 84 (6), 1033–1046.
- Fukui E. (red.), 1977, *The climate of Japan*, Elsevier Scientific Publishing Co., Tokyo, 199–208.
- Fukui E., 1934, *Rainfall variability in Japan*, Geographical Review of Japan, 10, 755–771.
- Gong D.Y., Ho C.H., 2002, *Shift in the summer rainfall over the Yangtze river valley in the late 1970s*, Geophysical Research Letters, 29, 1436.
- Hashino M., 1996, *Evaluation of characteristic changes of precipitation events in main Japanese climatic regions due to global warming*, Report for the River Environment Fund, the Foundation of River and Watershed Environment Management.
- Hashino M., Yue S., 1994, *Statistical analysis of effects of monthly temperature on monthly precipitation properties*, Preprints of the 2nd Symposium on Global Environment, 207–212.
- IPCC, 2014, *Podsumowanie dla decydentów: Przyczynek I Grupy Roboczej do Piątego Raportu Oceny Zmiany Klimatu Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu 2014: Fizyczne podstawy naukowe*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Iwashima T., Yamamoto R., 1993, *A statistical analysis of the extreme events: long-term trend of heavy daily precipitation*, Journal of Meteorological Society of Japan, 71 (5), 637–640.
- Kendall M. G., 1955, *Rank correlation methods*, Charles Griffin & Co. Ltd., London.
- Kikuchi K., Horie N., Harimaya T., Konno T., 1988, *Orographic rainfall events in the Orofure mountain range in Hokkaido, Japan*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 66 (1), 125–138.
- Kikuchi K., 1969, *Fluctuation of winter precipitation in northern Hoshu*, Science Reports of Tohoku University, 19, 161–179.
- Kimoto M., Yasutomi N., Yokoyama C., Emori S., 2015, *Projected changes in precipitation characteristic around Japan under the global warming*, SOLA, 1, 85–88.
- Kodama Y.M., Tomiya Y., Asano S., 2009, *Air mass transformation along trajectories of airflow and its relations to the vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 87, 655–685.
- Kurihara K., Kawahara M., 1986, *Extremes of East Asian weather during the post ENSO years of 1983/84 – severe cold winter and hot dry summer*, Journal of Meteorological Society of Japan, 64, 493–503.
- Lau K.M., Yang S., 2000, *Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon*, Journal of Climate, 13, 2461–2482.
- Liang X., Wang W.C., 1998, *Associations between China monsoon rainfall and tropospheric jets*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 124, 2597–2623.
- Mizukoshi M., 1962, *Distribution of rainfall related to the activities of Bai-u fronts*, Geographical Review of Japan, 35, 24–28.
- Nakahara M., 1938, *A statistical analysis of the frequency distribution of the summer rainfall in Japan*, Journal of Meteorological Society of Japan, 16, 111–117.

- Nakamura H., Fukamachi T., 2004, *Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 130, 1213–1233.
- Okada T., 1903, *On the duration of rainfall*, Journal of Meteorological Society of Japan, 23, 11.
- Otani T., 1934, *The secular variation of Bai-u*, Journal of Meteorological Society of Japan, 11, 501–504.
- Sakaida K., 1987, *Year to year variations of winter precipitation in Japan*, The Science Reports of the Tohoku University, 7th Series (Geography), 37 (2), 129–137.
- Schaefer D., Domroes M., 2009, *Recent climate change in Japan-spatial and temporal characteristics of trend of temperature*, Climate of the Past, 5, 13–19.
- Stidd C.K., 1954, *The use of correlation fields in relating precipitation to circulation*, Journal of Meteorology, 2, 202–213.
- Suzuki E., 1967, *A statistical and climatological study on the rainfall in Japan*, Papers of Meteorology and Geophysics, 18, 103–181.
- Yonetani T., 1992, *Discontinuous changes of precipitation in Japan after 1900 detected by the Lepage test*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 70 (1), 95–102.
- Yoo S.H., Ho C.H., 2004, *Influences of tropical western and extratropical Pacific SST on East and Southeast Asian climate in the summers of 1993–94*, American Meteorological Society, 17, 2673–2686.
- Yue S., Hashino M., 2003, *Long-term trends of annual and monthly precipitation in Japan*, Journal of the American Water Resources Association, 39 (3), 587–596.
- Yue S., Hashino M., 2003, *Temperature trends in Japan 1900–1966*, Theoretical and Applied Climatology, 75, 15–27.

Strony internetowe

<http://www.data.jma.go.jp/> (15.04.2017).

<http://old.wetterzentrale.de/> (15.04.2017).

Diana Kopaczka

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Piotra Borowego 14, 30–215 Kraków

diana.kopaczka@imgw.pl

